

Јован Шетрајчић и Дарко Капор



ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ • БЕОГРАД

*Рецензенти*

Проф. др Миодраг Крмар, професор на ПМФ-у у Новом Саду

Бранислав Јовановић, просветни саветник у Министарству

просвете, науке и технолошког развоја

Др Гордана Хајдуковић, наставник у ОШ „Мирослав Антић” у Футогу

*Уредник*

Татјана Бобић

*Одговорни уредник*

Слободанка Ружичић

*Главни уредник*

Др Милорад Марјановић

*За издавача*

Др Милорад Марјановић, в. г. директора

---

Министар просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, решењем број  
650-02-00271/2020-07 од 26.11.2020. године, одобрио је овај уџбеник за издавање и употребу.

---

ISBN 978-86-17-

-

© ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ, Београд, 2020.

Ово дело не сме се умножавати, фотокопирати и на било који други начин  
репродуктовати, ни у целини ни у деловима, без писменог одобрења издавача.

Ово су брат и сестра Идејић који ће вас водити кроз ову књигу. Они су врло маштовити и пуни идеја, али то понекад тешко пада њиховим родитељима. Стога су се они договорили да, док једно експериментише, друго се одмара. Према томе, сретаћете их и док раде и док се одмарају.

# ФИЗИКА ПО ТРЕЋИ ПУТ

По трећи пут се срећемо на истом задатку — изучавању физике. Бавићемо се областима које су нам из живота блиске: осцилацијама и таласима, електрицитетом, магнетизмом и оптиком.

Мало ћемо заћи и у област нуклеарне физике, т.ј. завирити унутар атома и тиме отићи корак даље од онога што учите у хемији.

На крају ћемо покушати да сагледамо колико и на који начин физика, тачније њена примена утиче на свет у којем живимо.



## Осцилаторно и таласно кретање



### Светлосне појаве



### Електрично поље



1.1. ОСЦИЛATORНО КРЕТАЊЕ . . . . .	8
1.2. ПОЈМОВИ И ВЕЛИЧИНЕ КОЈИМА СЕ ОТПИСУЈЕ ОСЦИЛОВАЊЕ ТЕЛА . . . . .	10
Математичко клатно . . . . .	11
1.3. ЗАКОН О ОДРЖАЊУ МЕХАНИЧКЕ ЕНЕРГИЈЕ ПРИ ОСЦИЛОВАЊУ ТЕЛА . . . . .	12
1.4. МЕХАНИЧКИ ТАЛАСИ . . . . .	13
Врсте таласа . . . . .	14
1.5. ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ КОЈИМА СЕ ОТПИСУЈЕ ТАЛАСНО КРЕТАЊЕ . . . . .	15
1.6. ЗВУК И УЛТРАЗВУК . . . . .	16
Извори звука . . . . .	17
1.7. КАРАКТЕРИСТИКЕ ЗВУКА И ЗВУЧНА РЕЗОНАНЦИЈА . . . . .	18
Посебно упамтити . . . . .	19
Питања . . . . .	19
 2.1. КАРАКТЕРИСТИКЕ СВЕТЛОСТИ . . . . .	24
Праволинијско простирање светлости . . . . .	25
Сенка и полусенка . . . . .	26
Помрачена . . . . .	26
Брзина светлости . . . . .	27
2.2. ЗАКОН ОДБИЈАЊА СВЕТЛОСТИ . . . . .	29
Равна огледала и конструкција лика предмета . . . . .	30
Сферна огледала . . . . .	31
Конструкција лика код издубљеног огледала . . . . .	32
Конструкција лика код испупченог огледала . . . . .	33
2.3. БРЗИНА СВЕТЛОСТИ У РАЗЛИЧИТИМ СРЕДИНАМА И ПРЕЛАМАЊЕ СВЕТЛОСТИ . . . . .	34
Индекс преламања и закон преламања светлости . . . . .	35
Тотална рефлексија . . . . .	36
2.4. ПРЕЛАМАЊЕ СВЕТЛОСТИ КРОЗ ПРИЗМУ И СОЧИВА . . . . .	36
Оптичке призме . . . . .	36
Оптичка сочива . . . . .	37
Одређивање положаја лика код сабирног сочива . . . . .	38
Одређивање положаја лика код расипног сочива . . . . .	39
Јачина и увећање сочива . . . . .	40
Оптички инструменти: лупа и микроскоп . . . . .	41
Човечје око као оптички инструмент . . . . .	42
Посебно упамтити . . . . .	43
Питања . . . . .	45
 3.1. НАЕЛЕКТРИСАВАЊЕ ТЕЛА . . . . .	48
3.2. ЕЛЕМЕНТАРНА КОЛИЧИНА НАЕЛЕКТРИСАЊА.	
ЗАКОН О ОДРЖАЊУ НАЕЛЕКТРИСАЊА . . . . .	50
Подела материјала по електричним особинама . . . . .	51
3.3. УЗАЈАМНО ДЕЛОВАЊЕ НАЕЛЕКТРИСАНИХ ТЕЛА. КУЛОНОВ ЗАКОН . . . . .	52
3.4. ПОЈАМ И ПРЕДСТАВЉАЊЕ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЉА . . . . .	53
Утицај електричног поља . . . . .	54
3.5. ЕЛЕКТРИЧНИ НАПОН. РАД СИЛЕ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЉА . . . . .	55
Електрични напон . . . . .	55
Рад силе електричног поља	
Веза напона и јачине електричног хомогеног поља . . . . .	57
3.6. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЈАВЕ У АТМОСФЕРИ . . . . .	58
Посебно упамтити . . . . .	60
Питања . . . . .	61
Пупин, Франклин и свети Илија . . . . .	62

## Електрична струја

4.

## Магнетно поље

5.

## Елементи атомске и нуклеарне физике

6.

## Физика и савремени свет

7.

4.1. ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА . . . . .	66
Услови за настанак електричне струје . . . . .	66
4.2. ЈАЧИНА ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ . . . . .	68
Деловање електричне струје . . . . .	68
4.3. ИЗВОРИ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ . . . . .	69
4.4. МЕРЕЊЕ ЈАЧИНЕ И НАПНОНА ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ . . . . .	71
4.5. ЕЛЕКТРИЧНА ОТПОРНОСТ ПРОВОДНИКА . . . . .	72
Проводници и изолатори . . . . .	73
4.6. ОМОВ ЗАКОН ЗА ДЕО СТРУЈНОГ КОЛА . . . . .	74
4.7. РАД И СНАГА ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ . . . . .	76
Електрична енергија . . . . .	78
4.8. ЦУЛ-ЛЕНЦОВ ЗАКОН . . . . .	79
4.9. ОМОВ ЗАКОН ЗА ЦЕЛО СТРУЈНО КОЛО . . . . .	80
Везивање отпорника . . . . .	80
Серијска веза отпорника . . . . .	81
Паралелна веза отпорника . . . . .	81
4.10. ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА У ТЕЧНОСТИМА И ГАСОВИМА . . . . .	83
4.11. МЕРЕ ЗАШТИТЕ ОД ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ . . . . .	84
Посебно упамтити . . . . .	86
Питања . . . . .	87
 5.1. МАГНЕТНО ПОЉЕ СТАЛНИХ МАГНЕТА И МАГНЕТНО ПОЉЕ ЗЕМЉЕ . . . . .	90
Карakterистике магнетног поља . . . . .	92
5.2. МАГНЕТНО ПОЉЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ . . . . .	94
Магнетно поље праволинијског струјног проводника . . . . .	94
Магнетно поље кружног проводника и соленоида; Електромагнети . . . . .	95
5.3. ДЕЈСТВО МАГНЕТНОГ ПОЉА НА СТРУЈНИ ПРОВОДНИК . . . . .	96
5.4. ДОТРИНОС НИКОЛЕ ТЕСЛЕ И МИХАЈЛА ПУПИНА НАУЦИ О ЕЛЕКТРИЦИТЕТУ . . . . .	98
Посебно упамтити . . . . .	102
Питања . . . . .	102
 6.1. СТРУКТУРА АТОМА . . . . .	106
Елементарне честице . . . . .	106
Грађа атома . . . . .	107
Језгро атома и нуклеарне силе . . . . .	109
6.2. ПРИРОДНА РАДИОАКТИВНОСТ . . . . .	110
6.3. ВЕШТАЧКА РАДИОАКТИВНОСТ . . . . .	112
Нуклеарна фисија . . . . .	112
Нуклеарна фузија . . . . .	113
Радиоактивно (нуклеарно) зрачење и заштита од њега . . . . .	114
6.4. ПРИМЕНА НУКЛЕАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ И РАДИОАКТИВНОГ ЗРАЧЕЊА . . . . .	116
Нуклеарна енергетика . . . . .	116
Употреба радиоактивног зрачења у прехрамбеној технологији . . . . .	117
Нуклеарна медицина . . . . .	117
Посебно упамтити . . . . .	119
Питања . . . . .	119
 7.1. ЗНАЧАЈ ФИЗИКЕ ЗА РАЗВОЈ ДРУГИХ НАУКА . . . . .	122
Физика и математика . . . . .	122
Физика и остале природне науке . . . . .	122
Физика и техника . . . . .	123
Физика и савремени материјали . . . . .	124
7.2. ДОТРИНОС ФИЗИКЕ РАЗВОЈУ САВРЕМЕНЕ МЕДИЦИНЕ . . . . .	125
Ултразвучна дијагностика и терапија . . . . .	125
Мерење биопотенцијала и биоструја (ЕКГ и ЕЕГ) . . . . .	126
7.3. ФИЗИКА И САВРЕМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ . . . . .	133
7.4. КАКВА ЈЕ БУДУЋНОСТ ФИЗИКЕ? . . . . .	134
РЕЧНИК НОВИХ РЕЧИ И ИЗРАЗА . . . . .	137
ЛИТЕРАТУРА . . . . .	139

Кретања која се понављају су веома занимљива. Нека скоро да и не запажамо (кружење казалјки по сату, кретање клатна код старинских часовника), док друга, као, рецимо, таласе на води, итекако уочавамо. Додуше, оно што се код таласа понавља и дефинише њихове особине је кретање делића воде. Зато ћемо и ми у нашем проучавању ове теме ићи у том смеру: почећемо од једноставног осциловања да бисмо на крају стигли до таласа.



# 1. ОСЦИЛАТОРНО И ТАЛАСНО КРЕТАЊЕ



**1. Осцилаторно и таласно кретање**

- 2. Светлосне појаве
- 3. Електрично поље
- 4. Електрична струја
- 5. Магнетно поље
- 6. Елементи атомске и нуклеарне физике
- 7. Физика и савремени свет

## 1.1. ОСЦИЛАТОРНО КРЕТАЊЕ

Проучавајући географију још у претходним разредима сте говорили о томе како се Земља обрће око своје осе, а истовремено обилази око Сунца. Месец се обрће око своје осе, обилази око Земље и са њоме обилази око Сунца (слика 1.1). Тада је било битно уочити да су смена дана и ноћи, смена годишњих доба или Месечеве мене последице оваквих кретања. Ова кретања се одвијају по кружној (у ствари, скоро кружној) путањи.



► Слика 1.1. Кретање Земље око Сунца и Месеца око Земље



► Слика 1.2. Примери неких периодичних кретања

Сетимо се вртешке (рингишпила), или кретања веша у машини за прање. Знамо да врх минутне казаљке на сату опише круг за један сат, а врх казаљке секундаре за један минут. Приликом избацивања кугле – замах се добија ротирањем кугле са бацачем (слика 1.2а). Кретања која се одвијају по кружној путањи су **кружна кретања**.

Шта је општа карактеристика свих набројаних и многих сличних примера кружног кретања? Њихово заједничко својство је да се временски понављају, тј. да имају **периодичност**. Периодично кретање постоји и код живих бића: откуцаји срца, треперење гласних жица при говору, циркулација крви у организму итд. Крв богата кисеоником креће од срца артеријским судовима (црвено обојеним на слици 1.2б) ка свим ћелијама човекових органа. У срце се враћа крв која износи угљен диоксид венским судовима (плаво обојеним на слици 1.2б). И онда се циклус циркулације крви обнавља. О овом сте више учили на часовима биологије.



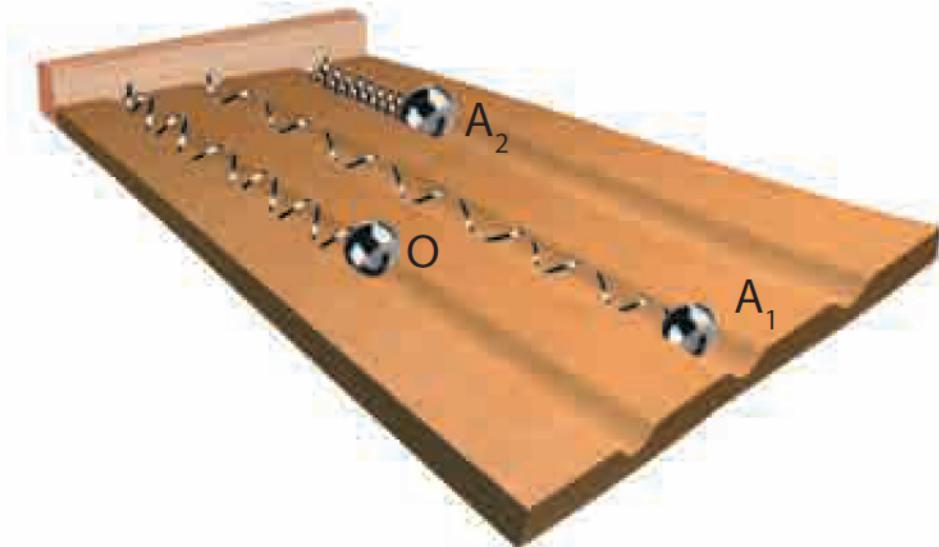
Кретање које се после одређеног времена понавља на исти начин, назива се **периодично кретање**.

Најједноставнија периодична кретања су: **равномерно кружно кретање** и **осцилаторно кретање**. Равномерно кружно кретање је кружење тела брзином непроменљивог интензитета. Осцилаторно кретање је кретање по истој линији са наизменичном променом смера кретања.

Начинимо хоризонталан гладак жлеб полукуружног пресека и у њега поставимо опругу. Један крај опруге причврстимо на почетку жлеба, а на други поставимо куглицу. И опруга и куглица мирују, значи, у равнотежи су. Овај положај куглице називамо равнотежни положај (тачка O на слици 1.3). Да бисмо лакше описивали кретање, нека је равнотежни положај десно од учвршћеног краја. Повуцимо куглицу удесно до положаја  $A_1$ . (Подсетимо се да је сила еластичности опруге сразмерна издужењу и усмерена ка равнотежном положају.)

Кажемо да смо је извели из равнотежног положаја. Опруга ће се више издужити па ће се у њој, као последица, појавити интензивнија сила еластичности. Ако се куглица пусти, она се под дејством те силе убрзано креће према равнотежном положају. Међутим, она се не зауставља у том положају, већ по инерцији наставља кретање налево, сабијајући опругу. Кретање тега из равнотежног положаја је успорено, тако да се она зауставља у положају  $A_2$ . Након тога сила еластичности сабијене опруге враћа куглицу према равнотежном положају O, али се не зауставља, већ продужава до положаја  $A_1$ , одакле је и започела кретање. Даље се све понавља на исти начин. Према томе, то је једна врста периодичног кретања.

Овде радимо са хоризонталном опругом. Све што причамо може се применити и на вертикалну опругу. Нисмо говорили о њој јер утицај силе теже на равнотежни положај компликује објашњење.



► Слика 1.3. Осциловање тела на опруги

Таква су и кретања брисача ветробрана аутомобила или љуљашке итд.

Када се периодично кретање врши увек по истој путањи са проласком кроз једну равнотежну тачку у различитим смеровима, онда је то **осцилаторно кретање**.

За тело које се осцилаторно креће каже се да осцилује.

## 1. Осцилаторно и таласно кретање

- 2. Светлосне појаве
- 3. Електрично поље
- 4. Електрична струја
- 5. Магнетно поље
- 6. Елементи атомске и нуклеарне физике
- 7. Физика и савремени свет

## 1.2. ПОЈМОВИ И ВЕЛИЧИНЕ КОЈИМА СЕ ОПИСУЈЕ ОСЦИЛОВАЊЕ ТЕЛА

Растојање између равнотежног положаја и најудаљенијег положаја до којег тело доспева при осцилаторном кретању је **амплитуда осциловања**.

На слици 1.3 амплитуду осциловања представља растојање од равнотежног положаја О до  $A_1$  или  $A_2$ . Кад тело пређе пут од  $A_1$  до  $A_2$ , и натраг до  $A_1$ , оно је извршило једну целиу осцилацију. Време за које је прешло тај пут зове се **период осциловања** и обележава се са  $T$ . Другим речима, **период је време за које тело изврши једну целиу осцилацију**.

Број осцилација у једној секунди је **учесталост или фреквенција**. Ова физичка величина се обележава грчким словом  $v$  (ни). Јединица за фреквенцију се назива **херц (Hz)**. Када фреквенција осциловања износи 1 Hz, значи да се изврши једна осцилација за једну секунду.

Ако је познато трајање једне осцилације – период осциловања  $T$ , може се израчунати фреквенција, тј. колико осцилација се изврши у току 1 секунде:

$$v = \frac{1}{T}.$$

Фреквенција је једнака реципрочној вредности периода осциловања. Из ове дефиниције следи да је:

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{1 \text{ s}} = 1 \frac{1}{\text{s}}.$$

### ПРИМЕР

Колика је фреквенција осциловања ако тег окренут о вертикалну опругу, за једну секунду пређе из највишег у најнижи положај?



Подаци:

$$\Delta t = 1 \text{ s}$$

$$v = ?$$

Решење:

$$T = 2\Delta t$$

$$v = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\Delta t} = \frac{1}{2 \cdot 1 \text{ s}}$$

$$v = 0,5 \frac{1}{\text{s}} = 0,5 \text{ Hz}$$



## МАТЕМАТИЧКО КЛАТНО

Када се тело причвршћено за један крај опруге изведе из равнотежног стања и пусти, осциловаће око свог равнотежног положаја. Код обешеног тела које мирује постоји равнотежа силе теже која делује на тело и силе затезања ужета о којем виси. Ако се тело изведе из равнотежног положаја, оно осцилује под утицајем Земљине теже. Свако такво тело се зове **клатно** (слика 1.4). Најчешће се као клатно узима мала куглица обешена о танак конац (слика 1.5). Такво клатно наилази на мали отпор ваздуха па зато дugo осцилује.

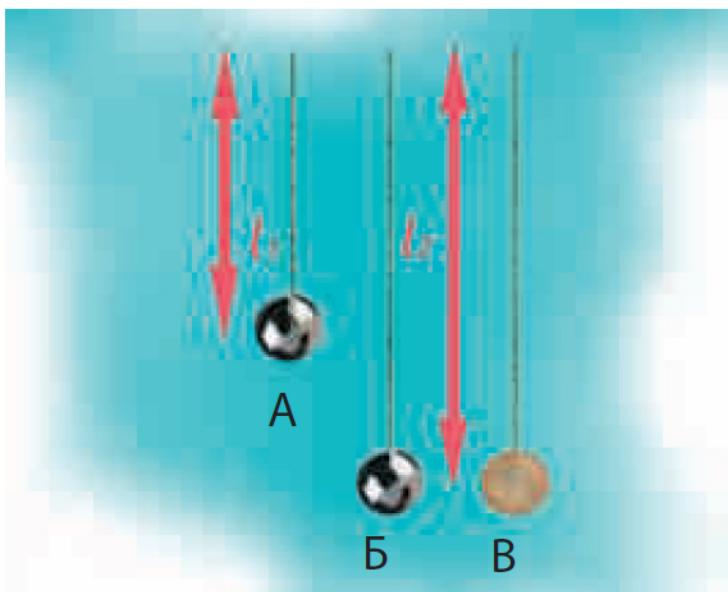
Растојање од тачке вешања до тежишта клатна (лоптице) зове се **дужина клатна**. То у овом случају приближно одговара дужини конца. Идеализован случај, када је пречник лоптице занемарљиво мали, назива се **математичко клатно**.

За утврђивање законитости кретања клатна довољно је припремити клатна са гвозденим и дрвеним куглицама, по могућству исте величине (слика 1.6). За овај оглед потребан је и хронометар. Дужине сваког клатна могу да се мењају.

Ако се пусте истовремено да осцилују два клатна, Б и В, истих дужина а различитих маса, оба за исто време изврше једнак број осцилација. Из овога произистиче да **период осциловања клатна не зависи од његове масе**.

Када неко клатно осцилује прво једном, а после другом – различитом амплитудом, његови периоди су увек једнаки, што значи да **период осциловања клатна не зависи од амплитуде**.

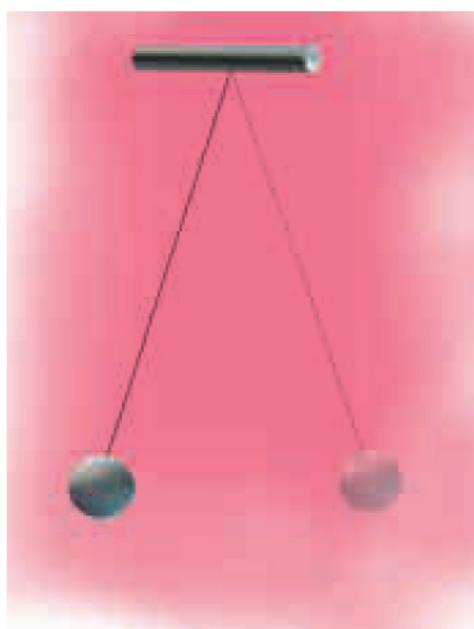
Да би се одредио утицај дужине клатна на његов период, треба појединачно пуштати да осцилују клатна А и Б. Запази се: период **осциловања клатна се повећа ако се дужина клатна повећа**. Пажљивије посматрање би указало да при четвороструком повећању дужине период расте два пута, дакле као квадратни корен из дужине.



► Слика 1.6 . Упоређивање периода осциловања за клатна различитих маса и дужина



► Слика 1.4. Клатно као гео часовника са клатном

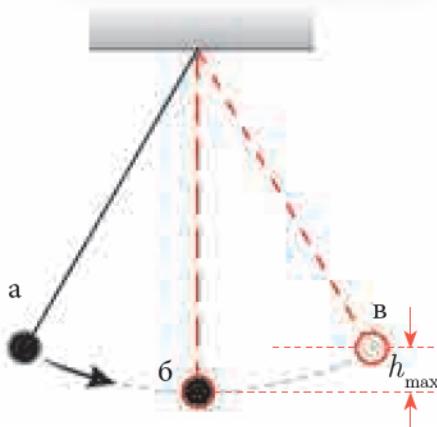


► Слика 1.5. Кулица на нити као математичко клатно

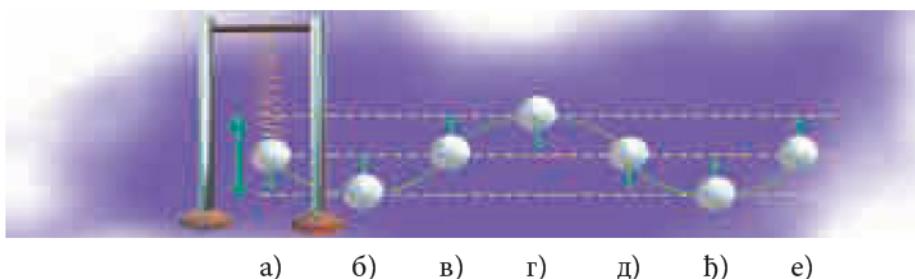
Ви сад, наравно, питате да ли постоји и физичко клатно. Наравно да постоји. То је случај када се не могу занемарити димензије и облик тела које осцилује, рецимо када се лењир или школски троугао држи за један врх и заљуља. (Могу и патике да буду клатно, када их држите за пертле и заљуљате.)

## 1. Осцилаторно и таласно кретање

- 2. Светлосне појаве
- 3. Електрично поље
- 4. Електрична струја
- 5. Магнетно поље
- 6. Елементи атомске и нуклеарне физике
- 7. Физика и савремени свет



► Слика 1.7. Положаји клатна током осциловања



► Слика 1.8. Положаји осциловања тела на еластичној опрузи

Ове особине клатна први је уочио Галилеј о којем смо говорили још у претходном разреду. Он је посматрао како се љуљају велики лустери, а време је мерио преко свог била (пулса). Убрзо је почела производња сатова са клатном, или строгу теорију осциловања као и правила конструкције сата дао је један други велики физичар - Кристијан Хајгенс (Christian Huygens, 1629-1695) у својој књизи „О сату са клатном“.

## 1.3. ЗАКОН О ОДРЖАЊУ МЕХАНИЧКЕ ЕНЕРГИЈЕ ПРИ ОСЦИЛОВАЊУ ТЕЛА

Да бисмо проучили промене механичке енергије код тела које осцилује, посматрајмо осцилације математичког клатна као пример који може да опише било које друге осцилације (слика 1.7). У 7. разреду смо посматрали промену енергије тела које пада са неке висине. У сваком тренутку куглица поседује кинетичку енергију услед кретања  $E_k$  и потенцијалну енергију  $E_p$ . Потенцијалну енергију куглице клатна меримо од најнижег (равнотежног) положаја. Да би клатно осциловало, мора се изместити из равнотежног положаја (б) до неког положаја који ће представљати амплитуду (положаји а и в). При томе се врши рад који прелази у потенцијалну енергију. При кретању из амплитуде ка равнотежном положају, куглица се налази све ниже (мања потенцијална енергија) док јој брзина расте (већа кинетичка енергија). При проласку кроз равнотежни положај куглица има максималну брзину док јој је потенцијална енергија једнака нули. Када из равнотежног положаја куглица почиње да се пење ка амплитуди на супротној страни, брзина а самим тим и кинетичка енергија опада и потенцијална енергија расте. У положају амплитуде, куглица се начас зауставља (брзина и кинетичка енергија једнаке нули) док је потенцијална енергија максимална. Почиње кретање у супротном смеру. Једном речју, одвија се процес претварања потенцијалне у кинетичку енергију и обратно.

Ако се могу занемарити отпор ваздуха и трење у тачки где је нит причвршћена, нема никаквих других сила изузев Земљине теже и никаквих процеса који би пропутиковали губитке механичке енергије. У овом случају важи закон одржања механичке енергије

$$E_M = E_p + E_k = \text{const.}$$

Константу која се овде појављује можемо одредити ако знамо вредности обе енергије у неком тренутку. Конкретно, у положају амплитуде кинетичка енергија је једнака нули  $E_k = 0$ , док потенцијална енергија има максималну вредност  $E_p = m g h_{\max}$ . Према томе, укупна енергија осциловања у сваком тренутку износи:  $E_M = m g h_{\max}$ . Помоћу овог израза можемо одредити и максималну брзину клатна. Знамо да клатно има највећу брзину када пролази кроз равнотежни положај. Тада је  $E_p = 0$ , док је  $E_k = \frac{mv^2}{2}$  па је  $E_M = E_k = \frac{mv^2}{2}$ .

Комбиновањем ова два израза се добија да је  $v^2 = 2gh_{\max}$ .

Све наведено се може применити и на друге видове механичког осциловања само је потребно знати израз за потенцијалну енергију. И у случају тела на еластичној опрузи (слика 1.8) кључна величина је вертикална удаљеност од равнотежног положаја.



## 1.4. МЕХАНИЧКИ ТАЛАСИ

Током вожње чамцем многима се сигурно додило да је поред чамца пројурио глисер. Он је произвео таласе. Чамац се јако заљуља, али се није помакао према обали. Зашто га талас није однео?

Таласи су путовали, али честице воде испод чамца нису. Оне су само осциловале горе-доле. Осциловање, преузето од претходних честица, преносило се на следеће честице воде. Такво кретање се назива **таласно кретање**. Свако је посматрао како од камена баченог на мирну површину воде настају таласи у облику концентричних кругова ( слика 1.9).



► Слика 1.9. Ширење кружног таласа на површини воде

Таласно кретање може настати и у другим еластичним срединама (железничка шина, затегнута челична жица...). Карактеристика овог кретања је да се преноси само поремећај, док се честице средине крећу око својих равнотежних положаја. Оне остају у ограниченом делу простора и само осцилују.

Процес преношења осцилаторног кретања (осцилација) од једне на друге честице дате средине, назива се таласно кретање, односно механички таласи (кратко: таласи).

Како честица која осцилује поседује енергију, јасно је да се посредством таласа преноси енергија од честице до честице. Енергија се на тај начин преноси од једног до другог места у простору.

Код механичких таласа осцилују делови супстанције. Могућа је и друга ситуација, а то је да се осцилаторно мења поље и тај поремећај се преноси. У претходним разредима говорили смо о гравитационом пољу. И његов поремећај може да се пренесе у облику таласа! За експериментално доказивање постојања ових таласа додељена је Нобелова награда за физику 2017. године. (Даље информације потражите сами на интернету).

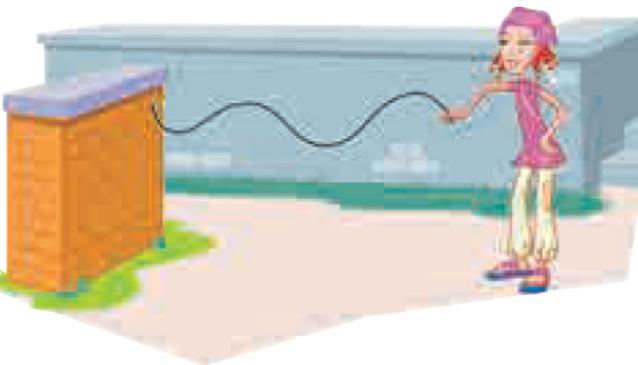
Касније ћемо упознати електрично и магнетно поље, а управо електромагнетни таласи служе за пренос информација у савременом свету (радио, телевизија, мобилна телефонија).

## 1. Осцилаторно и таласно кретање

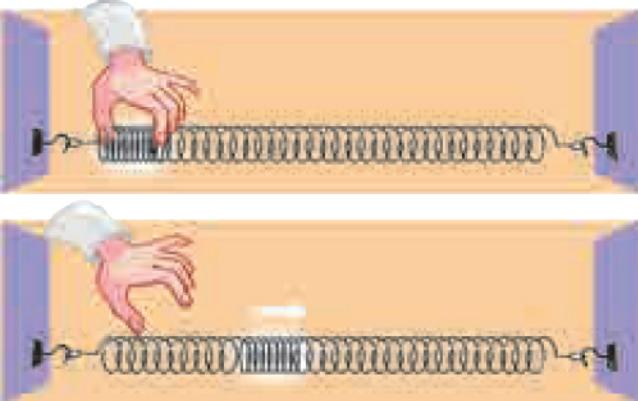
- 2. Светлосне појаве
- 3. Електрично поље
- 4. Електрична струја
- 5. Магнетно поље
- 6. Елементи атомске и нуклеарне физике
- 7. Физика и савремени свет

## ВРСТЕ ТАЛАСА

Талас који је изазван на површини воде (слика 1.9), као и талас који се може изазвати попречним померањем једног kraја ужета (слика 1.10), назива се **попречни или трансверзalan талас**. Трансверзalan талас је талас код којег настаје поремећај еластичне средине у облику брегова и доља, јер честице осцилују нормално на правца простирања таласа.



► Слика 1.10. Изазивање йоћречног (трансверзалног) таласа њокрејтањем ужета



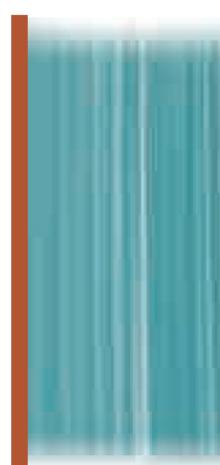
► Слика 1.11. Изазивање уздужног (лонгитудиналног) таласа у еластичној опрузи

У еластичној опрузи може настати (и кроз њу се простирати) талас који се битно разликује од претходно описаных таласа. Такав талас се може изазвати ако се део опруге стисне и затим нагло пусти (слика 1.11). Опругом почне да се шири уздужни (лонгитудинални) талас. То је талас код кога се очава згушњавање и разређивање јер честице еластичне средине осцилују у правцу простирања таласа.

У зависности од правца осциловања честица у односу на правца простирања таласа, таласи могу бити **попречни (трансверзални)** и **уздужни (лонгитудинални)**.

Ако се у прозирну посуду успе вода и посуда стави на графоскоп, затим врхом оловке дотакне вода, настаје талас у облику концентричних кругова (слика 1.9). То је **кружни талас**. Он се површином воде распостира у свим правцима од врха оловке. Ако се, међутим, на површину воде спусти летвица, настаје **раван талас** (слика 1.12). Раван талас се шири само у једном правцу и смеру, нормално на летвицу.

Врх оловке је извор кружног, а летвица извор равног таласа. Кружница најудаљенија од оловке (извора) је таласни **фронт кружног таласа**, а права (дуж) најудаљенија од летвице (извора) је **фронт равног таласа**. Значи, по облику таласног фронта разликују се кружни и равни талас. Има и других облика таласа. На пример, **сферни талас** настане у тродимензионој средини ако је извор таласа тачкаст.



► Слика 1.12. Простирање равног таласа по површини воде, где се очавају месећа згушњавања и разређивања таласа, која се покомерају у смеру крећања таласа.



## 1.5. ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ КОЈИМА СЕ ОПИСУЈЕ ТАЛАСНО КРЕТАЊЕ

Ако се у току простирања таласа у еластичној средини посматра било која честица, она осцилује око равнотежног положаја. Сви појмови који су уведени за осциловање важе и за таласе, па се може говорити о амплитуди, фреквенцији и енергији таласа.

Таласи се простиру тако што честице које осцилују побуђују на осциловање суседне честице. На исти начин су оне биле побуђене од претходних. Растојање до којег се осциловање пренесе за време од једног периода осциловања назива се **таласна дужина**.

Таласи се, између осталог, разликују и по таласној дужини.

**Таласна дужина је удаљеност између две најближе честице еластичне средине које осцилују на исти начин.** Обично се обележава грчким словом  $\lambda$  (ламбда) а изражава јединицом дужине, тј. метром (m).

Најједноставније се мери између два суседна брега код трансверзалних (слика 1.13а), односно између два суседна згушњења код лонгитудиналних таласа (слика 1.13б).

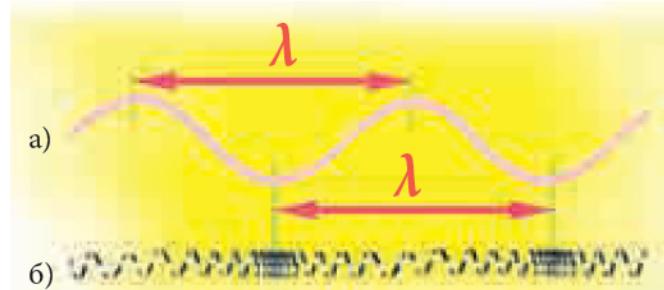
Пошто таласи представљају преношење осцилација у простору, може се говорити о **брзини простирања таласа**. Да би се разликова од брзине честице, брзина таласа се обележава са  $c$ . Талас се креће сталном брзином  $v = c$  и у времену  $t = T$  превалиће пут  $s = \lambda$ . Према томе, ако се у формули за брзину изврше ове замене, брзина таласа је:

$$c = \frac{\lambda}{T}$$

Пошто је период осциловања повезан са фреквенцијом  $\nu$  односом  $T = \frac{1}{\nu}$ , то је

$$c = \lambda \cdot \nu .$$

Ове формуле важе и за уздужне (лонгитудиналне) и за попречне (трансверзалне) таласе.



► Слика 1.13. Таласна дужина ког тойречној (а) и уздужној таласа (б)

### ПРИМЕР

Коликом се брзином простире талас на води ако му је таласна дужина 0,5 m и период осцилација таласа 0,2 s? Колика је његова фреквенција?

Подаци:

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,5 \text{ m} \\ T &= 0,2 \text{ s} \end{aligned}$$

Решење:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{0,5 \text{ m}}{0,2 \text{ s}} = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\begin{aligned} c &=? \\ \nu &=? \end{aligned}$$

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,2 \text{ s}} = 5 \text{ Hz}$$

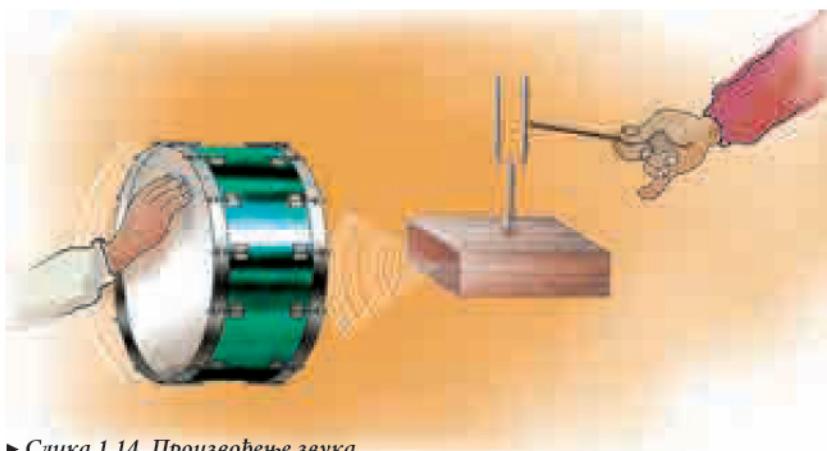


## 1. Осцилаторно и таласно кретање

- 2. Светлосне појаве
- 3. Електрично поље
- 4. Електрична струја
- 5. Магнетно поље
- 6. Елементи атомске и нуклеарне физике
- 7. Физика и савремени свет

## 1.6. ЗВУК И УЛТРАЗВУК

Свакодневно се чују разни звукови: звук гитаре, клавира, жуборење воде, завијање ветра, звук мотора аутомобила, авиона итд. У учионици се чује глас професора, али се истовремено чује звук аутомобилске сирене, пој птица или лајање паса. Све су то разне врсте звукова. Многи од тих звукова су веома пријатни за слушање, али други нису. Звук може бити чак и јако непријатан, на пример – бука бушилице за бетон, удар грома, топовска пальба...



► Слика 1.14. Произвођење звука изазивањем механичких осцилација

Наука о звуку (акустика) се развијала скоро истовремено са настанком музичких инструмената, али је све оно што данас знамо о звуку, а поготово тону, прикупило чувени лекар - физиолог и физичар Херман фон Хелмволц (Herman von Helmholtz, 1821-1894) у својој познатој књизи који је назив, ни мање ни више, него „Учење о осећају тонова као физиолошка основа теорије музике“, односно у оригиналу *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*.



Област физике која се бави изучавањем настанка звука, његових основних својстава, као и његове практичне примењене, назива се **акустика**.

Ако се удари о звучну виљушку (слика 1.14), чуће се звук. За време производње звука звучна виљушка трепери – осцилује. Звук се појачава резонантном кутијом. У човековом грлу звук настаје осциловањем гласних жица, звук виолине је последица осцилација жица, а звук бубња настаје осциловањем кожне мембрane.

Да би звук доспео до уха, потребно је да га пренесе нека средина. Како се између звучног извора и уха обично налази ваздух, кроз њега се звук најчешће и преноси (слика 1.14). Међутим, није непознато да се звук простире и кроз чврста и течна тела. Тако, на пример, кроз железничку шину може се чути приближавање воза са велике даљине ако се на њу прислони ухо. Према томе, **звук се простире кроз тела у сва три агрегатна стања**.

Звук настаје осциловањем тела – **извора звука**, у еластичној средини. **Звук је механички талас и зато се не простире кроз вакуум**.

Да би се чуо звук, осим звучног извора и средине која преноси тај звук, морају бити испуњена још два услова:

- звук треба да има довољну јачину (изнад прага чујности) и
- фреквенције звучног извора треба да су у интервалу од 16 Hz до 20 000 Hz.

Звук веома малог интензитета (веома тих звук) човечије ухо не може да региструје. Звук чија је учестаност мања од 16 Hz, назива се **инфразвук**, а звук фреквенције изнад 20 000 Hz назива се **ултразвук**. Људско ухо је неосетљиво на оба ова звука.

Примена ултразвука је разноврсна и велика. У медицини се ултразвук примењује, на пример, при откривању разних неправилности (отеклина, рана, напрснућа и сл.) у телесним органима или нпр. за праћење развоја детета пре рођења. У металургији се употребљава за откривање шупљина у материјалу, у океанографији за одређивање дубине океана итд. Ултразвук се примењује и у процесу стерилизације животних намирница јер се њиме уништавају многи микроорганизми.



Ултразвук се добија вештачким путем помоћу посебних уређаја. Њега, међутим, производе и користе и нека жива бића, на пример, делфини и слепи мишеви. Делфини могу помоћу ултразвучних таласа сасвим добро да се оријентишу и у мутној води, пронађу јата риба и обиђу разне препреке. Слепи мишеви се оријентишу у простору и лове плен користећи ултразвук који производе.

## ИЗВОРИ ЗВУКА

**Звучни извори** су сва тела која својим осциловањем (треперењем, вибрирањем) изазивају формирање механичког чујног таласа (слика 1.16).

Код неких извора се ударцем или узастопним ударањем различитим чекићима или палицама изазива настанак звука. То се дешава код шипкастих звучних извора (звучна виљушка или триангл), затим код плочастих (ксилофон или звоно) и код неких жичаних (клавир). Код других жичаних звучних извора звук се производи трзањем жице (гитара, харфа) или трљањем – трењем (гудачки инструменти). Код добоша, бубњева и слично звук се производи ударцима о мембрани која заосцилује. У звучнику се изазива вибрање мембрани привлачењем и одбијањем малог електромагнета и једног сталног магнета причвршћеног за мембрну. Дувачки инструменти, као и разне пиштаљке, производе звук треперењем ваздуха који струји кроз различите цеви. У човечијем грлу се звук производи, такође, помоћу струјања ваздуха. Молекули ваздуха из плућа заосцилују гласне жице у грлу.

Поред извора „жељених” звукова, у природи постоје и „непожељни” звучни извори. Звук из ових извора је пратећа појава и најчешће је веома непријатан; звук произведен гребањем ноктом о таблу, интензивним цепањем папира или бушењем зида вибрационом бушилицом. Такви звукови су и крчање из телефонске слушалице (повремено) или из радио-апарата (када није подешен „на станицу”). Непријатан звук производи брусилица када се њоме обрађује метални предмет или нпр. бушилица бетона.



► Слика 1.15. Слепи мишеви и делфини – природан извор ултразвuka



► Слика 1.16. Звучни извори

Извори звука су и разне сирене које, углавном, служе ради посебног упозоравања. Различит звук производе возови, аутомобили или бицикли. Полицијски аутомобили, кола хитне помоћи и ватрогасна возила поседују специфичне врсте сирена, како бисмо их лакше распознавали.

## 1. Осцилаторно и таласно кретање

- 2. Светлосне појаве
- 3. Електрично поље
- 4. Електрична струја
- 5. Магнетно поље
- 6. Елементи атомске и нуклеарне физике
- 7. Физика и савремени свет

Како су се мењале резонантне кутије различитих музичких инструмената у различитим епохама и како оне утичу на боју и квалитет тона, сазнали сте и на часовима музичке културе.



У неким чврстим телима брзина звука може бити и вишеструког већа него у ваздуху: просечне брзине простирања звука у неким срединама  $\left( \text{у } \frac{\text{м}}{\text{s}} \right)$  су:

ваздух - 340, вода - 1 450,  
гвожђе - 5 000.

## 1.7. КАРАКТЕРИСТИКЕ ЗВУКА И ЗВУЧНА РЕЗОНАНЦИЈА

Док се звучни таласи простиру кроз ваздух, молекули ваздуха осцилују око својих равнотежних положаја. Правац осциловања молекула поклапа се са правцем простирања звучног таласа. Овим осциловањем згушњавају се и разређују честице околног ваздуха. То су карактеристике лонгитудиналног механичког таласа. Дакле, **звукни талас у ваздуху је лонгитудинални талас**.

Звук је талас који се простире еластичном средином, па његова брзина зависи од еластичних својстава средине којом се простире.

**Таласи кроз гасове и течности су лонгитудинални, а у чврстим срединама могу бити и трансверзални.**

Опиштимо како човек чује. У дну канала ушне школјке налази се танка мембрана – **бубна опна**. Кад звучни талас дође до бубне опне, изазива њено осциловање. Бубна опна, преко **слушних кошчица**, преноси ово кретање до **унутрашњег уха**. У унутрашњем уху налазе се **чулни сензори**, тј. завршети **нерава**. Они су осетљиви на ова померања, како на амплитуду, тако и на фреквенцију. Надражјај преносе у **мозак** где се ствара **осећај** или **доживљај** звука.

Звучни доживљаји могу бити различити. Какве ће осећаје звук изазвати, зависи од тога како осцилује звучни извор и какве таласе производи.

При неправилном осциловању звучног извора чују се разни **шумови**: хук воде, шкрипа, шуштање лишћа итд. Кад звучни извор правилно осцилује, тј. када се осцилације понављају у једнаким временским размацима, такав звук се назива **тон**. Тонови се чују, на пример, при треперењу звучне виљушке и жица музичких инструмената.

Неке звучне виљушке брже осцилују па производе звук више фреквенције – више тонове. Значи, **висина тона** је одређена бројем целих осцилација у секунди.

Осим висине тона, звук карактерише и **јачина**. Када се звучна виљушка удари јаче, њени краци осцилују већим амплитудама, па се чује јачи тон јер су и молекули ваздуха принуђени на осциловање већим амплитудама. Јак и дуготрајан звук на улицама великих градова – **бука** – неповољно утиче на здравље и радну способност људи. Због тога се предузимају разне мере за смањење буке (премештање фабрика и авионских коридора изван градова, ограничена употреба сирена на возилима итд.).

Звук изазван повлачењем или трзањем разапете жице веома је слаб, мале је јачине и једва може да се чује. Ако је таква жица на гитари, виолини или у клавиру, звук је много „чујнији“. Звучна виљушка је много гласнија када се налази на дрвеној кутији. Звучници су „ефикаснији“ када су распоређени у звучне кутије.

Сви ови „појачани“ уређаји су снабдевени **резонатором**. То је шупља кутија специјално конструисаног облика. У резонаторима се појачање звука постиже изазивањем механичке резонанције. Жица принуди ваздух у резонаторској кутији на осциловање, а овај „натера“ и саме плоче резонатора да осцилују.

Сви музички инструменти се штимују. Затегнутост жица или величину отвора и још доста тога другог подешавају штимер-мајстори. Они усаглашавају особине извора звука са карактеристикама резонатора ради добијања што адекватнијег звука.



Кретање које се после одређеног времена понавља на исти начин, назива се периодично кретање.

Када се периодично кретање врши увек по истој путањи, са проласком кроз једну равнотежну тачку у различитим смеровима, онда је то осцилаторно кретање.

Растојање између равнотежног положаја и најудаљенијег положаја до којег тело доспева при осциловању, зове се амплитуда.

Период је време за које тело обави једну целу осцилацију. Број осцилација у јединици времена је фреквенција.

У зависности од правца осциловања честица у односу на правац простирања таласа, таласи могу да буду попречни (трансверзални) и уздужни (лонгитудинални).

Таласна дужина је удаљеност између две најближе честице еластичне средине које осцилују на исти начин.

Основне појмове о звуку повежите са наставом биологије и музичке културе.

## ПОСЕБНО УПАМТИТИ



### ПИТАЊА

1. По чему се осцилаторна кретања разликују од других кретања?
2. У којим тачкама путање тело причвршћено за металну опругу при осциловању има брзину једнаку нули? Чему је једнака механичка енергија у тим положајима?
3. У којој тачки путање, тело које осцилује, поседује само кинетичку енергију?
4. Чему је једнака укупна енергија тела које осцилује у произвољној тачки путање?
5. Од чега зависи период осциловања математичког клатна?
6. Када настаје механичка резонанција?
7. Како настаје механичко таласно кретање?
8. Које врсте таласа постоје?
9. Које величине карактеришу таласно кретање?
10. Које су основне разлике између тона и шума?
11. Од чега зависи брзина и врста звучног таласа у датој средини?



### ПИТАМ СЕ, ПИТАМ

1. Како се споразумевају космонаути када су ван брода?
2. Како се тумачи постанак јека и одјека?
3. Како животиње ричу, лају? Како птице певају?
4. Да ли рибе чују и говоре? Како човек чује када рони?

(Одговоре пронађите сами користећи литературу и неки интернет претраживач, нпр. Google Search, Wikipedia и сл.)

Када смо започињали ову тему, помињали смо часовник са клатном. Стеван Сремац је у роману „Поп Ђира и поп Спира” (Српски језик, лектира за 7. разред) описао ћудљиви поп Ђирин сат илити „сахат”.

„...Сахат је давнашњи. Памти ја њосија Перса, још дететом док је била, кад је донећи; од оно доба па до данас нису се више расправљали. А у ову кућу она ја је донела као део мираза своме Јоани. Онда је још добар био и тачно радио, а данас не можеш ни да ја познаш, ни онај ни дај боже. Сад је оматорио па се прозлио и полуђео; па се или усићи и на крај је, па захути као каква пакосна свекрва; или се рашићерети па лућа све којешти. Дође му тако па се усићи, не знаш ни зашто и ни крошићо, па неће да избија по неколико дана; захути као да се са свима у кући посвађао. А после оитети заокући једног дана избијати, па не зна шта је гостија; стапање ја лућа као мајстора у ковачници, лућа као на ларму, као да све село Ђори.”



Вероватно највећи број информација о свету који нас окружује примамо чулом вида. (Једини начин да избегнемо ове информације је да склопимо капке и тиме спречимо да светлост стигне до нашег ока.) Време је да разумемо како настају ове информације и колико им заиста можемо веровати. Грана физике која се бави проучавањем простирања светлости назива се оптика, а њен део у којем се зрак светлости третира као права линија, а којим ћемо се овде бавити, носи назив геометријска оптика.



2.

## СВЕТЛОСНЕ ПОЈАВЕ



## 2.1. КАРАКТЕРИСТИКЕ СВЕТЛОСТИ

Светлост је најважнији услов живота на Земљи. Под дејством светлости подстичу се и одржавају сложени хемијски и физички процеси у биљкама и животињама, и без ње не би био могућ живот. То су људи уочили још у почетку развоја људске цивилизације и о њој су писали и говорили научници, књижевници, песници и уметници свих времена.

Али, шта је у ствари светлост?

На питање шта је светлост није лако и једноставно одговорити. Наука, првенствено физика, досадашњим проучавањем успела је одгонетнути да је и светлост – облик енергије, јер је доказано да се светлост може добити из других облика енергије. Исто тако, и из светлосне енергије се могу добити електрична, хемијска и други облици енергије.

Услов за настанак светлости је постојање извора који емитује ту светлост. **Светлосни извори** могу бити:

- **природни**, као што су: Сунце, звезде, фосфор, неки инсекти или разне „светлеће“ боје;
- **вештачки**, као што су: електричне сијалице, петролејске и гасне лампе, свеће, бакље и сл.

Најчешће се користе термички (топлотни) светлосни извори, који емитују светлост загревањем тела. Метално тело се може поступно загревати, најпре до црвеног, потом жутог и најзад до белог усијања. Оно тада зрачи енергију махом у облику топлоте, а са повишењем температуре повећава се део енергије зрачен у облику светлости.



► Слика 2.1. Сунце је природни, а бакља вештачки светлосни извор

Пламен свеће даје светлост при хемијском процесу сагоревања, а светлећи гас (рекламне цеви) настаје при електричном пражњењу кроз гас. У звездама се непрекидно одвијају нуклеарни процеси при којима се ослобађа енергија (слика 2.1). Дакле, у светлосним изворима се топлотна, хемијска, нуклеарна или други облици енергије – претварају у светлосну енергију.

Важан је појам **тачкастог извора светлости**. Његове димензије су мале у односу на удаљености са којих се посматра. За человека су то, на пример, мала сијалица у лабораторији, или удаљене звезде у свемиру посматране са Земље.



## ПРАВОЛИНИЈСКО ПРОСТИРАЊЕ СВЕТЛОСТИ

Од светлосног извора светлост се простире на све стране. Светлост се простире не само кроз супстанцијалне средине, већ и кроз празан простор (вакуум).

Светлост се простира праволинијски – зрацима. То се може врло лепо запазити ујутро приликом изласка Сунца, ако се прође шумом или парком. Тада се зраци Сунца пробијају кроз јутарњу измаглицу (слика 2.2).

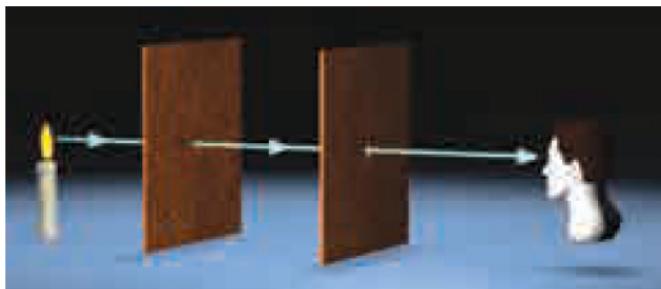


► Слика 2.2. Сунчеви зраци пропирују иза облака...

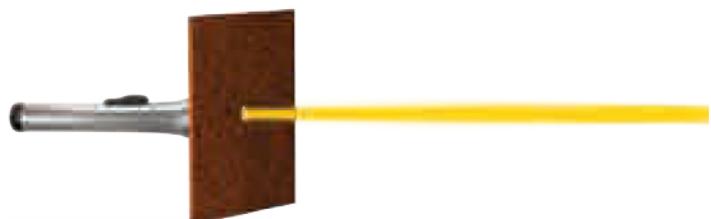
Претходна тврђња може се једноставно показати огледима (слика 2.3). Узме се равна гумена цев и упали свећа. Једним оком се кроз цев посматра упаљена свећа, док је цев равна. Шта ће се догодити ако се цев савије? Док је гумена цев равна, види се пламен свеће. Кад је цев савијена, пламен се више не види. То значи да се светлост шири праволинијски.

Да ли ће се светлост пламена свеће видети у сваком положају постављених препрека, или само у строго одређеним положајима (слика 2.4)?

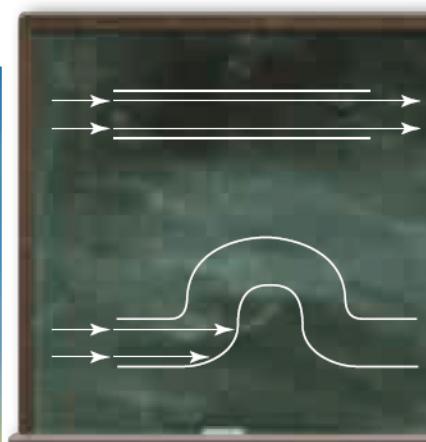
Показано је да се светлост простира праволинијски. Путања светлости се зато приказује зраком светлости. У пракси се чешће сусрећемо са снопом светлости који представља скуп светлосних зрака (слика 2.5).



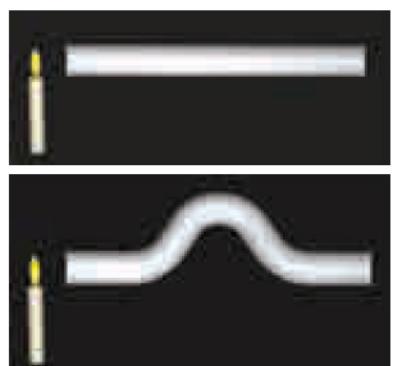
► Слика 2.4. Ојлед са препрекама које имају јорезе



► Слика 2.5. Светлосни сноп



б)



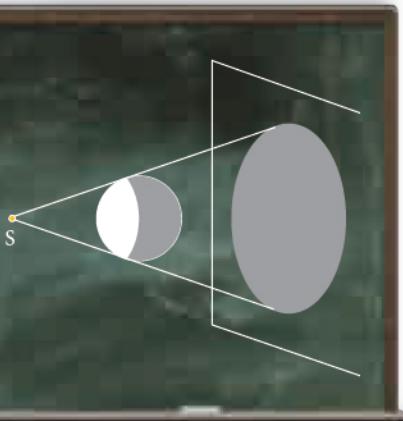
► Слика 2.3. Шематски приказ ојледа (а) и изведен ојлед (б) са јутеном цеви

## СЕНКА И ПОЛУСЕНКА

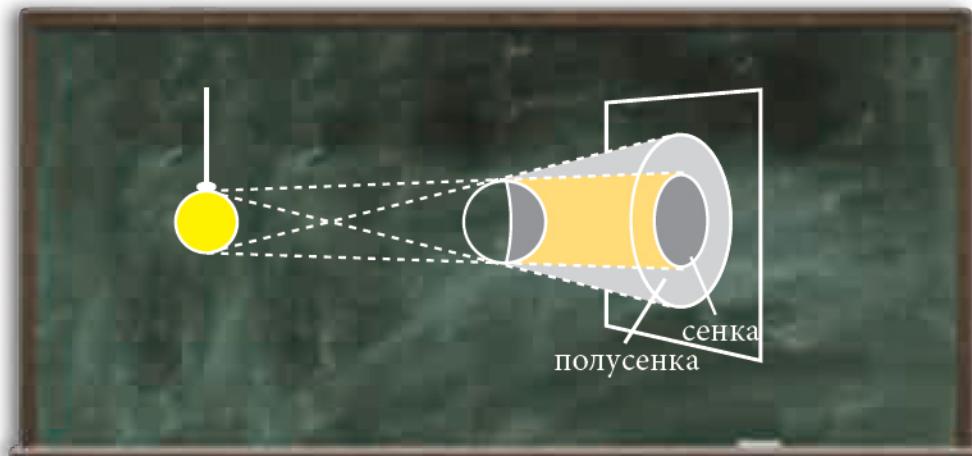
Због праволинијског простирања светlostи, иза осветљених предмета јавља се **сенка**. Величина сенке, њен облик и оштрина, зависе од величине светлосног извора и величине осветљеног предмета, као и њиховог узајамног положаја и удаљености.

Ако се осветли неко непровидно тело (нпр. лопта) светлошћу коју еmitује тачкасти светлосни извор (слика 2.6) на заклону се појављује сенка. (У свакодневном животу се равноправно користе изрази „застор“ и „заклон“, па ћемо и ми тако радити.) Она је настала услед тога што непровидна лопта није пропустила светlost, па је иза ње остао таман простор. Због тога је половина површине Земље, која је окренута супротно од Сунца, у мраку. Исти је случај код Месеца и код планета Сунчевог система.

Ако се мала лопта осветли неким извором већих димензија, на пример сијалицом у великој млечној кугли (слика 2.7), на застору ће се појавити таман простор – сенка, а око ње полутаман простор који се назива **полусенка**. У полусенку продире мањи део светlostи од светлосног извора, и то само са неких његових тачака.



► Слика 2.6. Појава сенке

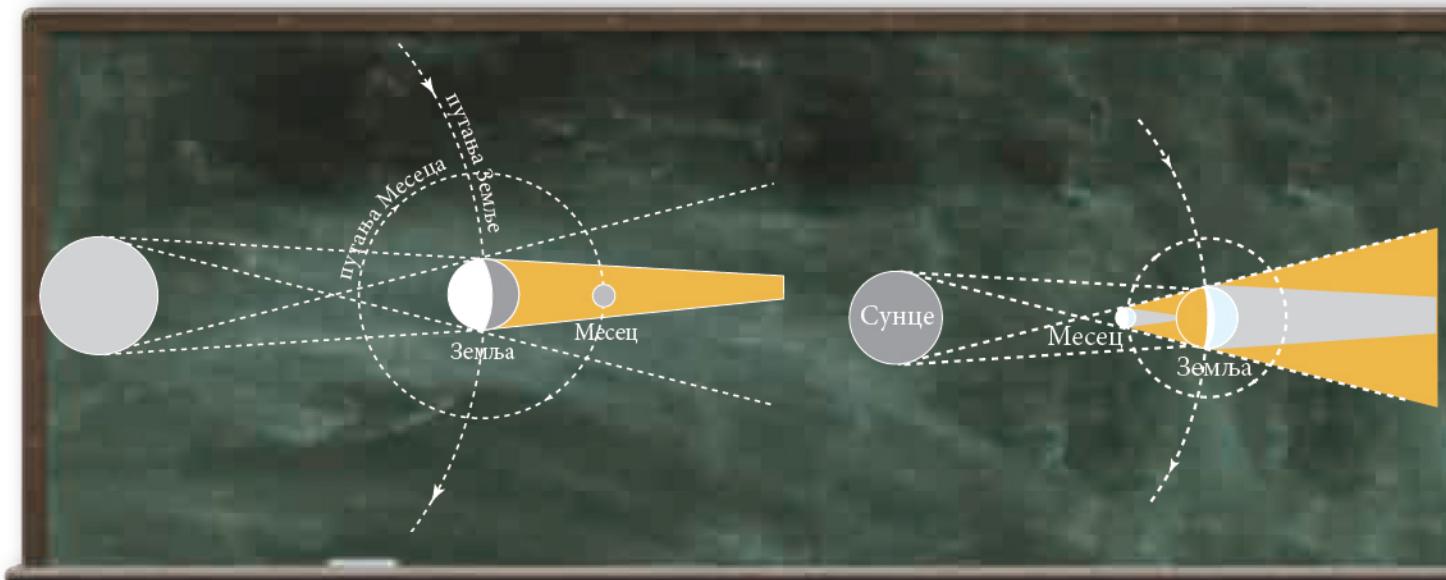


► Слика 2.7. Појава сенке и полусенке код извора који није тачкаст

## ПОМРАЧЕЊА

Помрачења Месеца и Сунца су, такође, последице праволинијског простирања светlostи.

**Помрачење** Месеца настаје када Месец уђе у Земљину сенку. То је могуће само онда када се Месец, при кретању око Земље, нађе на правцу Сунце–Земља (слика 2.8). Месец је тамно небеско тело и постаје видљиво само ако га осветле Сунчеви зраци. При помрачењу он се налази у сенци Земље, где нема Сунчевих зрака. Како је сенка Земље много већа од Месеца, помрачење Месеца траје по неколико часова, тј. док Месец не изађе из сенке.



► Слика 2.8. Положај Сунца, Земље и Месеца при помрачењу Месеца

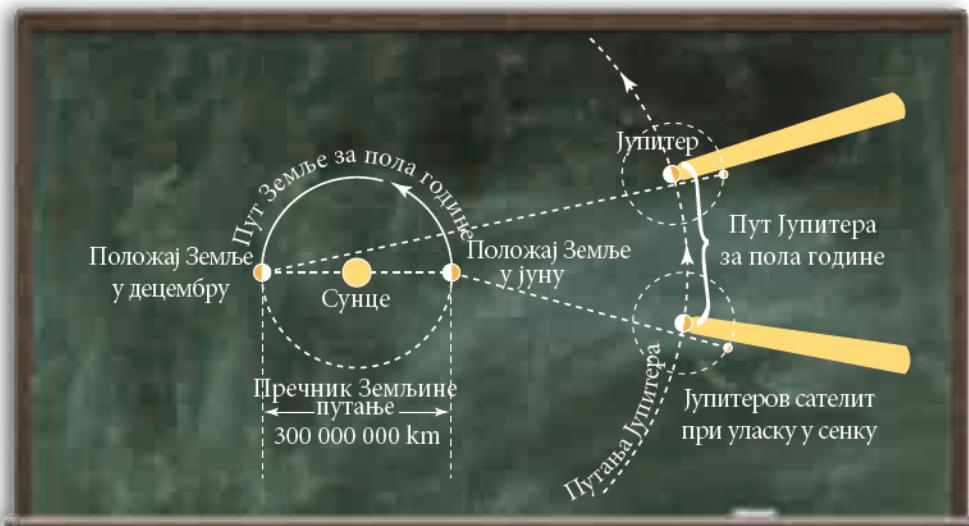
► Слика 2.9. Положај Сунца, Земље и Месеца при помрачењу Сунца

**Помрачење Сунца** настаје када се у правој линији нађу Сунце–Месец–Земља. Тада сенка Месеца „прелази“ преко Земљине површине (слика 2.9). Како је Месечева сенка мања од Земље, помрачење Сунца може се посматрати само са мањег дела Земљине површи. Важно је разумети да на тим местима, Месец делимично па чак и у потпуности заклања Сунце.

## БРЗИНА СВЕТЛОСТИ

Научници су раније више пута покушавали да измере брзину светлости. Међутим, ти покушаји нису успевали, па се мислило да је брзина светлости бесконачно велика. Оваква мерења нису могла дати задовољавајуће резултате, јер је брзина светлости толико велика да на Земљи не постоји такво растојање између две тачке где би се светлост простирила бар једну секунду.

Као занимљивост наведимо да је основне идеје геометријске оптике поставио „отац геометрије“ Еуклид. Битна разлика између његовог рада на геометрији и оптици је у томе што је у свом раду на геометрији прикупио и средио низ постојећих резултата, док је геометријска оптика заиста његово дело.



► Слика 2.10. Положаји Земље и Јупитера у односу на Сунце

Дански астроном Оле Ремер (Ole Christiansen Römer, 1644–1710), је 1676. године тако велика растојања потражио у вакуони. Ремер је добро проучио помрачење једног Јупитеровог месеца. При томе је запазио да улазак овог месеца у Јупитерову сенку није увек у истим временским интервалима. Када се утврди време уласка Јупитеровог месеца у сенку у тренутку када се Земља налази између Сунца и Јупитера (слика 2.10), па се упореди са временом када се Земља после пола године нађе на супротној страни од Сунца, уочава се да улазак овог месеца у Јупитерову сенку касни за око 1 000 s. Закашњење не настаје због успоравања кретања Јупитеровог месеца, већ због тога што светлосни зрак, који пође са њега, прелази много дужи пут. Тада повећани пут износи цео пречник Земљине путање око Сунца, тј. 300 000 000 km. Ово растојање светлост пређе за 1 000 секунди.

Пошто се светлост креће равномерно, то је брзина светлости ( $c$ ) кроз безвоздушни простор (вакуум):

$$c = \frac{s}{t} = \frac{300\,000\,000 \text{ km}}{1\,000 \text{ s}} = 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

**Брзина светлости у вакууму је највећа позната брзина у природи.** Према савременим (прецизнијим) резултатима мерења брзина светлости у вакууму је:

$$c = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

## ПРИМЕР

За које ће време стићи светлост муње између два облака, који су на међусобној удаљености од посматрача на земљи  $s = 3000 \text{ m}$ ?



Подаци:

$$\begin{aligned} s &= 3\,000 \text{ m} = 3 \text{ km} \\ c &= 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}} \\ t &=? \end{aligned}$$

Решење:

$$\begin{aligned} t &= \frac{s}{c} = \frac{3 \text{ km}}{300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}} = \frac{1}{100\,000} \text{ s} \\ t &= 10 \mu\text{s}. \end{aligned}$$



## 2.2. ЗАКОН ОДБИЈАЊА СВЕТЛОСТИ

Приликом вожње аутомобилом ноћу, примећује се да, на стубићима постављеним уз ивицу пута, мале пластичне плочице светле. Ако на њих падне спон светлости, оне постају видљиве. Овакве „светлеће” плочице или траке налазимо и на крајњим деловима аутомобила, бицикла, на ученичким торбама. То су познате „мачје очи” (слика 2.11). Разлог блеску мачијих очију, у физичком смислу, у ствари је у томе што се светлост која их обасја, од њих одбија или рефлектује.

Са прозора некада засветли Сунчева светлост као да се гледа директно у Сунце. Сунчева светлост се огледалцима може усмеравати на разне предмете. Све ово настаје због **одбијања светлости**. Глатка тела од којих се светлост веома добро одбија су **огледала**.

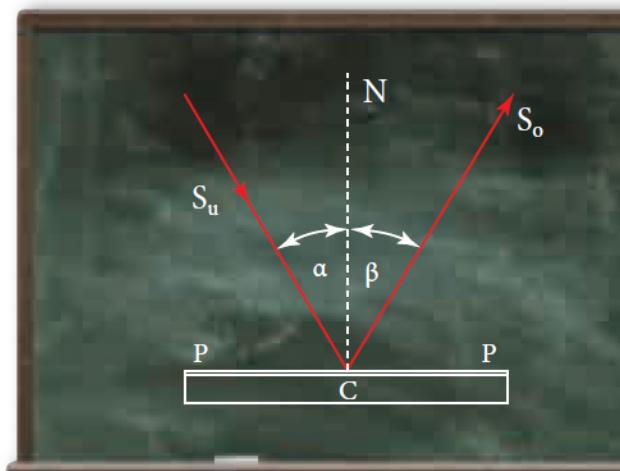
Појава одбијања светлости од равног огледала приказана је на слици 2.12. Упадни зрак  $S_u$  са нормалом  $N$  у тачки  $C$  гради **упадни угао  $\alpha$** . Зрак се одбија тако да **одбојни зрак  $S_o$**  са истом нормалом гради **одбојни угао  $\beta$** . Оглед показује да је одбојни угао увек једнак упадном углу, тј.

$$\alpha = \beta.$$

Поред тога, констатовано је да се упадни и одбојни зрак, заједно са нормалом, налазе у једној равни.

Према томе, закон одбијања светлости гласи:

**Упадни угао једнак је одбојном углу. Упадни зрак, нормала и одбијени зрак леже у истој равни.**

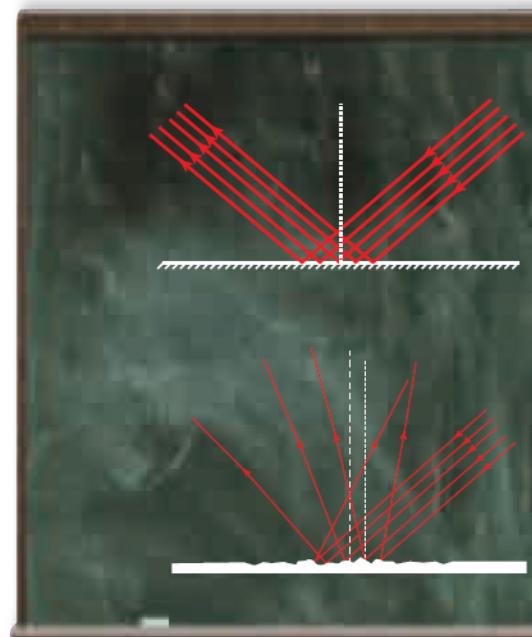


► Слика 2.12. Илустрација закона одбијања светлости

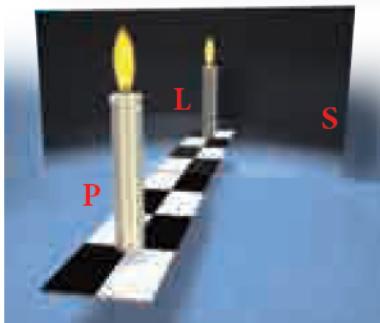
Ако паралелни зраци падну на равну површ, они ће после одбијања такође бити паралелни. Међутим, ако исти зраци падну на неравну површ, они ће се после одбијања расипати на све стране (слика 2.13). Светлост одбијена од неравних површи назива се **дифузна светлост**, а тела која овако расипају светлост – **дифузори**. „Мачије око” је типичан пример дифузора.



► Слика 2.11. „Мачје очи” на бицикли



► Слика 2.13. Одбијање светлости од равне и неравне површи



► Слика 2.14. Свећа (предмет) и њен лик у равном огледалу

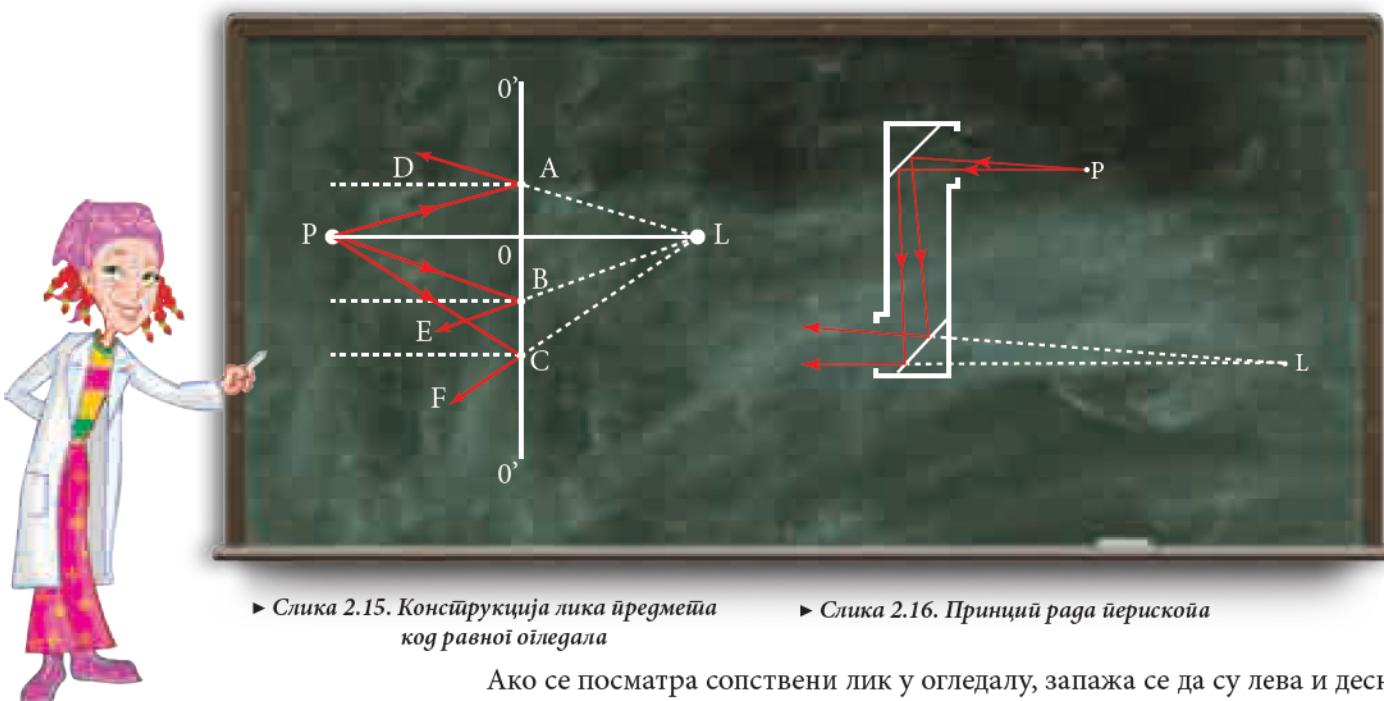
## РАВНА ОГЛЕДАЛА И КОНСТРУКЦИЈА ЛИКА ПРЕДМЕТА

Ако се испред равног огледала налази неко тело, у огледалу се види слика тога тела. Зна се да кроз огледало не може проћи зрак светlostи, а ипак се чини да је слика иза огледала. Такве слике зову се **привидни** или **нестварни ликови**. Зато смо у уводу спомињали да ћemo научити колико се информацијама које нам пружа око може веровати.

На равну хоризонталну плочу усправно се постави огледало S, а испред ње упаљена свећа P (слика 2.14). У огледалу се види свећа L, исте величине и на једнакој удаљености од огледала.

Лик код равног огледала налази се са друге стране огледала, на истом растојању од огледала као и предмет. Усправан је, привидан и по величини једнак предмету.

Како се формира лик у огледалу показује следећа конструкција, заснована на законима одбијања светlostи. Од предмета P (слика 2.15) у облику светлосне тачке, падају зраци на огледало O’O’. Одбијени зраци AD, BE и CF разилазе се. Они се не пресецају и не формирају лик. Ипак, за нас су занимљиви и ови зраци из следећег разлога: наше око, „види“ лик на месту где се секу продужени правци одбијених зрака и дају лик L, нестваран и на једнаком растојању од огледала,  $PO = OL$ . Предмет и лик се налазе на правој која је нормална на раван огледала.



► Слика 2.15. Конструкција лика предмета код равног огледала

► Слика 2.16. Принцип рада перископа

Ако се посматра сопствени лик у огледалу, запажа се да су лева и десна страна лица замењене у односу на леву, односно десну страну предмета. Затвори ли се десно око, слика ће затворити лево.

Осим познате употребе равних огледала у свакодневном животу, она се користе и у техници када је потребно променити правац или смер светлосних зрака. На овом принципу израђују се најпростији перископи. Они се сastoјe од цеви на чијим крајевима се налазе два равна огледала (слика 2.16) косо постављена под углом од  $45^\circ$ . Светлосни зраци се двапут одбијају док не дођу у око посматрача.



## СФЕРНА ОГЛЕДАЛА

Сферна огледала су делови углачане површине лопте и могу бити:

- издубљена (конкавна),
- испупчена (конвексна).

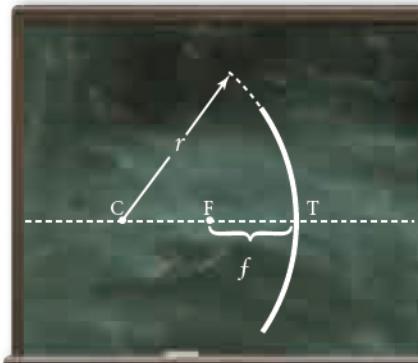
Код издубљених огледала светлост пада на унутрашњи део сферне површи, а код испупчених – на спољашњи део ( слика 2.17).

Елементи сферних огледала су:

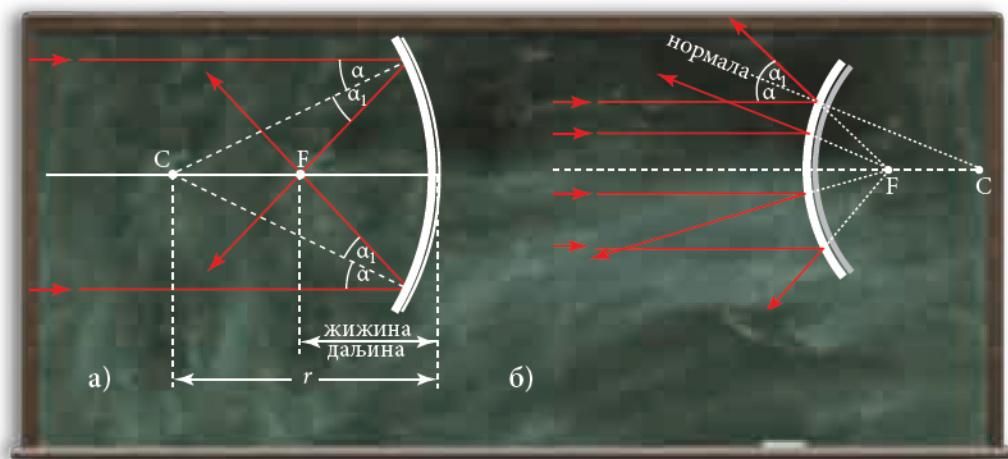
- центар кривине С – једно је и центар лопте чији део површине представља огледало,
- полупречник кривине  $r$  – једно је и полупречник лопте,
- теме огледала Т – налази се на средини огледала,
- главна оптичка оса – права која пролази кроз центар кривине С и теме огледала Т,
- жижа (фокус) огледала F – карактеристична тачка огледала,
- жижна даљина – растојање од жиже огледала F до темена огледала Т, а обележава се са  $f$ .

Када сноп паралелних зрака долази до сферног огледала, након одбијања они:

- се секу у жижи, код издубљеног огледала ( слика 2.18а),
- одбијају се тако да им продужеци полазе из жиже, код испупченог огледала ( слика 2.18б).



► Слика 2.17. Елементи сферног огледала



► Слика 2.18. Одбијање паралелних зрака код издубљеној (а) и испуњеној огледала (б)

Зато је жижа карактеристична тачка сваког сферног огледала. Поред тога, жижна даљина сферног огледала једнака је половини полупречника кривине, тј.

$$f = \frac{r}{2}.$$

Положај, величина и изглед лица неког предмета који се огледа у сферном огледалу – најједноставније се налази конструкцијом. Одмах морамо нагласити да постоје две врсте ликова: лик који настаје у пресеку зрака се може видети на заклону на том месту и назива се стваран (реалан) лик. Ако се зраци не пресецају (разилазе се) онда се такав лик не може видети на заклону, али га наше око „види“ у пресеку продужетака зрака, и то је имагинаран (привидан) лик.

При објашњавању како се конструишу ликови код огледала, користимо шематско представљање огледала. Прво, сматрамо да се предмет налази на оптичкој оси огледала и онда једноставно посматрамо само пресек равни у којој леже предмет и оптичка оса са огледалом. Огледало се у пресеку појављује као лук и тако га цртамо. Већ један поглед на слике које наилазе биће довољан да разумете поступак.



# 8 ФИЗИКА

1. Осцилације и таласно кретање

## 2. Светлосне појаве

3. Електрично поље

4. Електрична струја

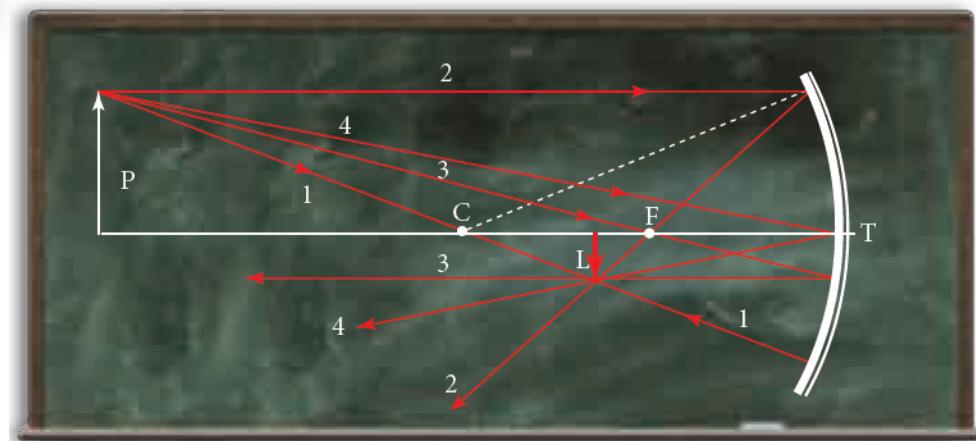
5. Магнетно поље

6. Елементи атомске и нуклеарне физике

7. Физика и савремени свет

## Конструкција лика код издубљеног огледала

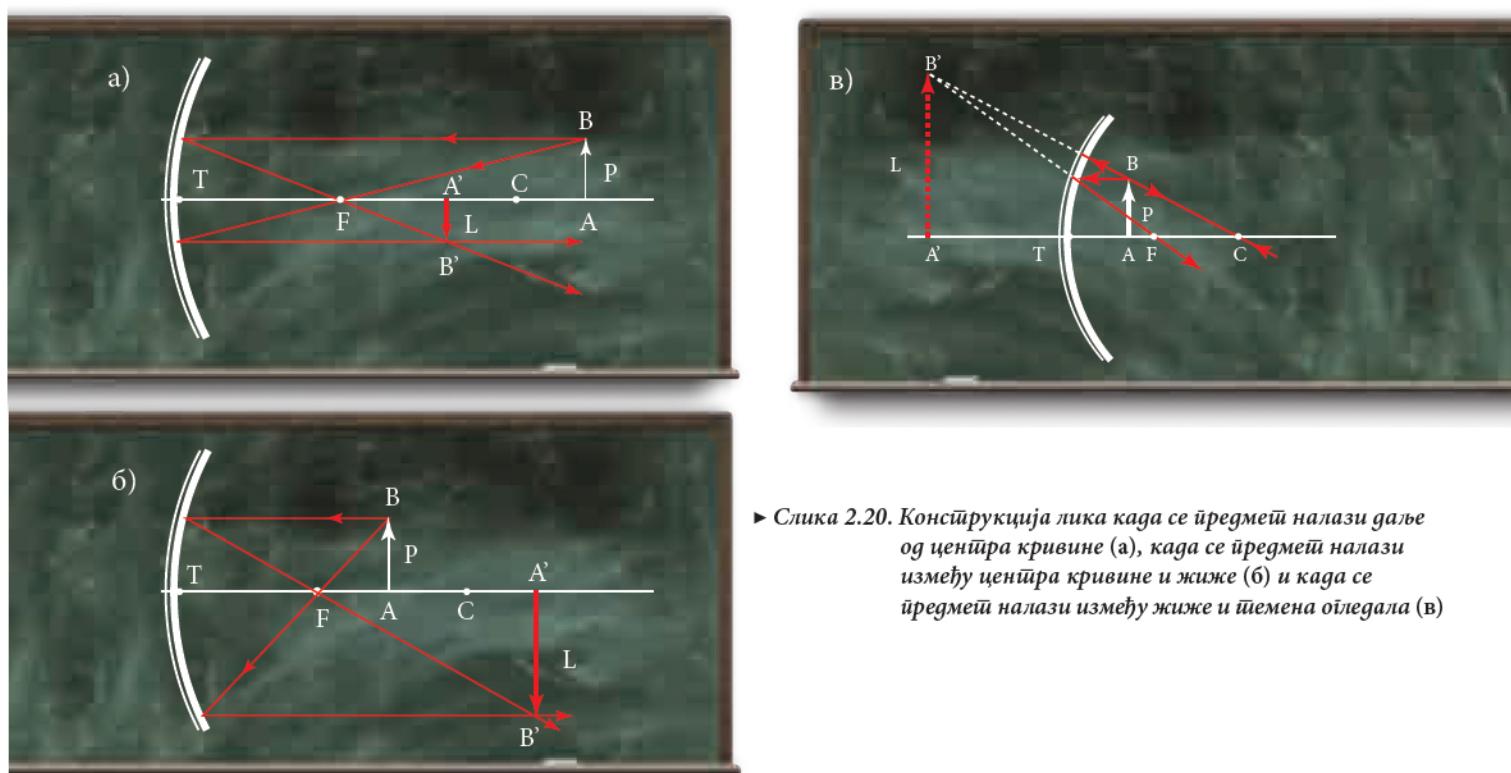
За конструкцију ликова користе се карактеристични зраци који полазе од неке тачке посматраног предмета. Узимају се 4 карактеристична зрака (слика 2.19), мада су за конструкцију лика довољна два.



► Слика 2.19. Карактеристични зраци за издубљено огледало

1. Зрак 1–1 који пролази кроз центар кривине С пада нормално на огледало и одбија се у истом правцу, а у супротном смеру.
2. Зрак 2–2 паралелан је са главном оптичком осом, а одбијени зрак пролази кроз жижу F.
3. Зрак 3–3 пролази кроз жижу, а одбијени зрак је паралелан са главном оптичком осом.
4. Зрак 4–4 пада у теме огледала под извесним углом са оптичком осом, а одбија се под истим углом.

За конструкцију лика погодно је узети за предмет обележену стрелицу, па се конструишу ликови крајњих тачака предмета.



► Слика 2.20. Конструкција лика када се предмет налази даље од центра кривине (а), када се предмет налази између центра кривине и жиже (б) и када се предмет налази између жиже и шемена огледала (в)



У зависности од положаја предмета и огледала, разликујемо три случаја:

a) предмет се налази даље од центра кривине (слика 2.20 а)

Сви зраци светlostи који излазе из тачке В секу се, након одбијања, у једној тачки В'. Зато је В' реалан (стваран) лик тачке В. Ако се понови исти поступак за све тачке предмета, добија се лик А'В' предмета АВ. У овом случају лик предмета је стваран, обрнут и мањи од предмета. Стваран лик можемо „ухватити” на заклону.

b) предмет се налази између центра кривине и жиже огледала (слика 2.20 б)

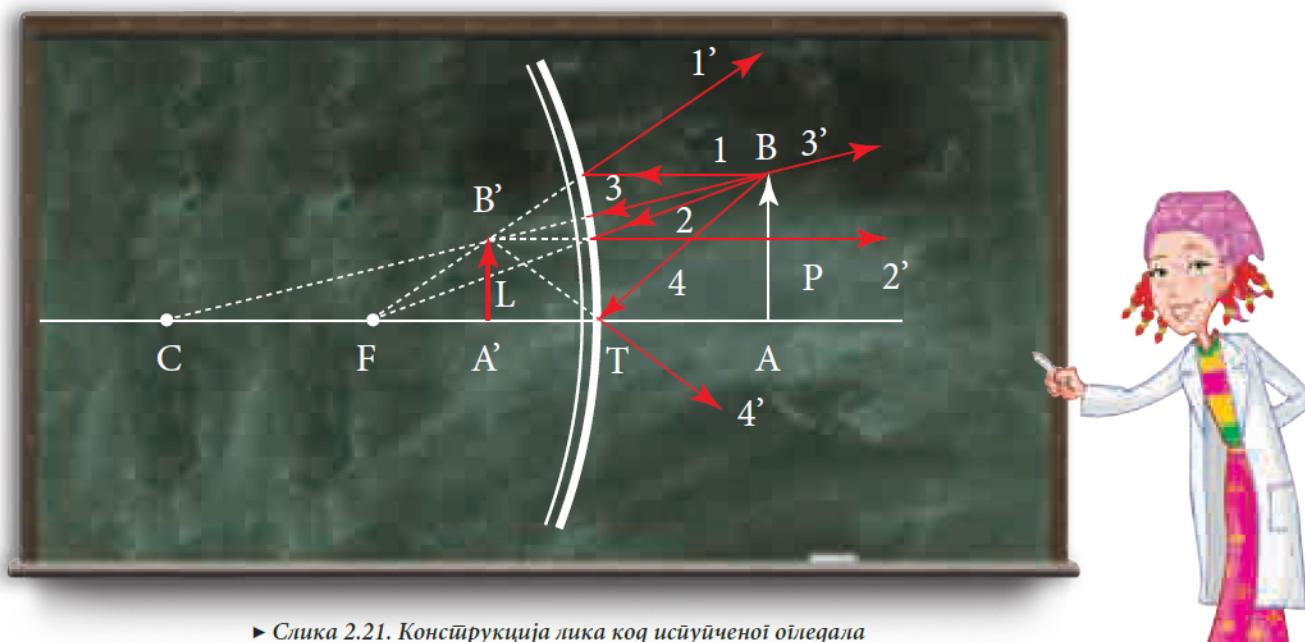
Лик је повећан, обрнут и реалан.

в) предмет се налази између жиже и темена огледала (слика 2.20 в)

Лик тачке В је привидан јер се зраци, који излазе из В, након одбијања нигде не секу. Они се расипају као да долазе из тачке В', а управо то ће посматрач запазити ако гледа у огледало. Са слике, лако се закључује да је лик предмета привидан, усправан и већи од предмета. Он се, као и код равног огледала, не може добити на заклону.

## Конструкција лица код испупченог огледала

Код испупченог огледала, ситуација је једноставнија. Без обзира где се предмет налази у односу на огледало, примена закона одбијања показује да се одбијени паралелни зраци расипају као да су дошли из жиже на другој страни испупченог огледала (слика 2.21, зрак 1-1'). Зраци који падају у правцу жиже, одбијају се од огледала паралелно оси (зрак 2-2'). Зраци који падају у правцу центра огледала одбијају се у истом правцу (3-3'). Зраци који падају у теме одбијају се под истим углом (4-4').



► Слика 2.21. Конструкција лица код испупченог огледала

На слици 2.21 приказана је конструкција лица који настаје на испупченом огледалу. Одбијени зраци се нигде не секу тако да не може настати стваран лик. Привидан лик се добија продужењем одбијених зрака. Лик је умањен, привидан и усправан.



Слика 2.22. Привидно преломљена цевчица

## 2.3. БРЗИНА СВЕТЛОСТИ У РАЗЛИЧИТИМ СРЕДИНАМА И ПРЕЛАМАЊЕ СВЕТЛОСТИ

Ако се са стране посматра цевчица урођена у воду, чини се да је преломљена на граници између ваздуха и воде (слика 2.22). Када се загази у воду, ноге ће изгледати сломљене и краће, а и дубина воде мања него што је стварна. На основу оваквих запажања може се закључити да су се дододиле неке промене са зрацима светлости на прелазу између воде и ваздуха. Ова појава промене правца простирања светлости се зове **преламање светлости** и дешава се када светлост прелази из једне средине у другу, а последица је тога што светлост има различиту брзину у различитим срединама.

Раније смо научили да је брзина светлости у вакууму највећа позната брзина у природи и износи око 300 000 километара у секунди.

Одређивањем брзине светлости у разним срединама добијени су различити резултати. Тако је за ваздух приближно иста вредност као и за вакуум, за воду 225 000  $\frac{\text{km}}{\text{s}}$ , а за стакло 200 000  $\frac{\text{km}}{\text{s}}$ .

За две различите средине, у којима се светлост простире различитим брзинама, каже се да имају различите **оптичке густине**. Конкретно, за провидну средину у којој се светлост брже простире каже се да је оптички ређа, а она у којој се светлост простире мањом брзином (у поређењу са неком средином), назива се оптички гушћа. Према томе, ваздух је оптички ређа средина од воде и стакла, а стакло је оптички гушће од ваздуха и воде.

Меру брзине светлости у некој средини у односу на брзину светлости у вакууму нам даје величина која се назива **индекс преламања**.

### ИНДЕКС ПРЕЛАМАЊА И ЗАКОН ПРЕЛАМАЊА СВЕТЛОСТИ

Однос брзина светлости у двема датим срединама је неименован број који се назива **индекс преламања** и обележава се са  $n$ . Индекс преламања неке провидне средине у односу на вакуум назива се **апсолутни индекс преламања**:

$$n = \frac{c_0}{c},$$

где је  $c_0$  брзина светлости у вакууму, а  $c$  је брзина светлости у датој средини. Пошто су брзине светлости за вакуум и ваздух приближно једнаке, апсолутни индекс преламања ваздуха је 1. Апсолутни индекси преламања за неке провидне средине дати су у следећој табели:

СРЕДИНА	Вода	Лед	Алкохол	Стакло	Кварц	Дијамант
$n$	1,33	1,31	1,36	1,50	1,54	2,42

При преласку светлосног зрака, нпр. из воде у стакло (или обратно), одређује се **релативни индекс преламања**, који је једнак односу брзина светлости у тим срединама:

$$n_r = \frac{c_1}{c_2}.$$



Како је  $c_1 = \frac{c_0}{n_1}$  и  $c_2 = \frac{c_0}{n_2}$ , где су  $n_1$  и  $n_2$  апсолутни индекси преламања за две различите средине, то је:

$$n_r = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\frac{c_0}{n_1}}{\frac{c_0}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Дакле, релативни индекс преламања двеју средина једнак је односу брзина светлости у тим двема срединама. Истовремено, овај број обрнуто је сразмеран односу апсолутних индекса преламања светлости за те две средине.

## ПРИМЕР

Израчунати релативни индекс преламања воде у односу на стакло.

Подаци:

$$n_s = 1,50$$

$$c_s = 200\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$n_v = 1,33$$

$$c_v = 225\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

—————

$$n_{vs} = ?$$

Решење:

$$n_{vs} = \frac{c_v}{c_s} = \frac{n_s}{n_v};$$

$$n_{vs} = \frac{225\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}}{200\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}} = \frac{1,50}{1,33};$$

$$n_{vs} = 1,12.$$



Сада можемо и да формулишемо закон преламања светлости.

Преламање се догађа на граничним површинама између две средине, различитих оптичких густина (слика 2.23). Слично као код одбијања светлости, упадни и преломљени зрак заједно са нормалом леже у истој равни. Угао између упадног зрака и нормале је **упадни угао  $\alpha$** , а угао између преломљеног зрака и нормале назива се **преломни угао** и обележава се са  $\beta$ .

Када светлосни зрак прелази из оптички ређе средине у гушћу, упадни угао је **већи** од преломног угла, тј.

$$\alpha > \beta.$$

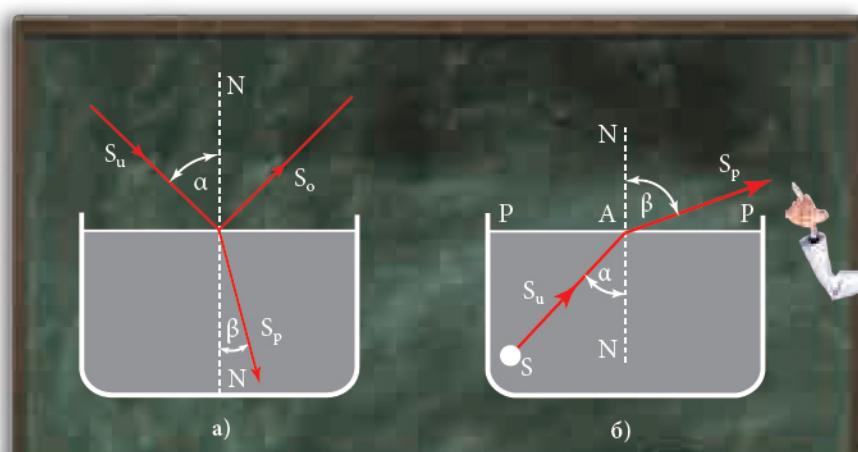
За овај случај се каже да се светлосни зрак **прелама ка нормали** (слика 2.23a). Такав случај је и када светлосни зраци прелазе из ваздуха у стакло и слично.

У случају да светлосни зрак прелази из воде у ваздух преломни угао ће бити већи од упадног угла. То важи и у општем случају, наиме када светлосни зрак прелази из оптички гушће у оптички ређу средину – упадни угао је **мањи** од преломног угла:

$$\alpha < \beta.$$

Ово значи да се зрак светлости тада **прелама од нормале** (слика 2.23б).

Зраци који падају нормално на граничну површину не преламају се.



► Слика 2.23. Преламање светлости

# 8 ФИЗИКА

1. Осцилације и таласно кретање

## 2. Светлосне појаве

3. Електрично поље

4. Електрична струја

5. Магнетно поље

6. Елементи атомске и нуклеарне физике

7. Физика и савремени свет

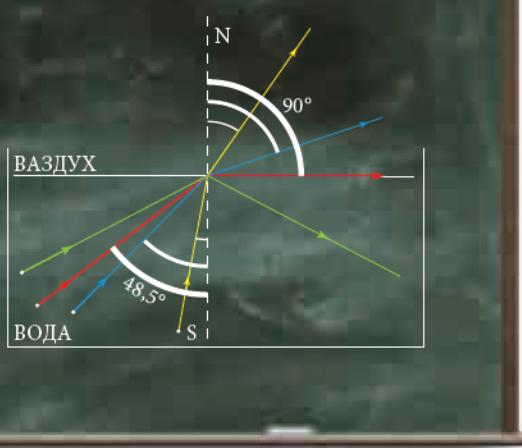
## ТОТАЛНА РЕФЛЕКСИЈА

Констатовано је да је преломни угао већи од упадног када светлосни зраци прелазе из оптички гушће у оптички ређу средину. Ако би се у овом случају повећавао упадни угао, повећавао би се и преломни угао. Али како

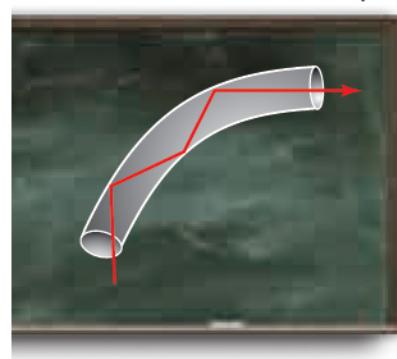
је овај угао већи од упадног, он ће брже нарасти до  $90^\circ$  и тада ће се излазни зрак кретати по самој граници тих двеју средина. Упадни угао коме одговара преломни угао од  $90^\circ$  назива се **гранични угао тоталне рефлексије**. Границни угао тоталне рефлексије за прелаз вода–ваздух је  $48,5^\circ$ , а за стакло–ваздух је  $42^\circ$ .

Ако је упадни угао већи од граничног угла, зрак неће прећи у другу средину, већ ће се одбити од граничне површине и вратити у исту средину (слика 2.24). При томе важи закон одбијања светлости. Овакво одбијање (рефлексија) назива се **тотална рефлексија**, јер се сви зраци враћају у исту средину. Значи, тотална рефлексија могућа је само када светлост прелази из оптички гушће у оптички ређу средину.

Појава потпуне или тоталне рефлексије данас се врло успешно користи при употреби оптичких каблова у телефонији (слика 2.25), у медицини код интернистичких прегледа (ендоскопија) и друге. Оптички кабл је конструисан тако да се светлост у њему стално totally рефлектује од граничне површине тако да не може да напусти кабл.



► Слика 2.24. Тотална рефлексија

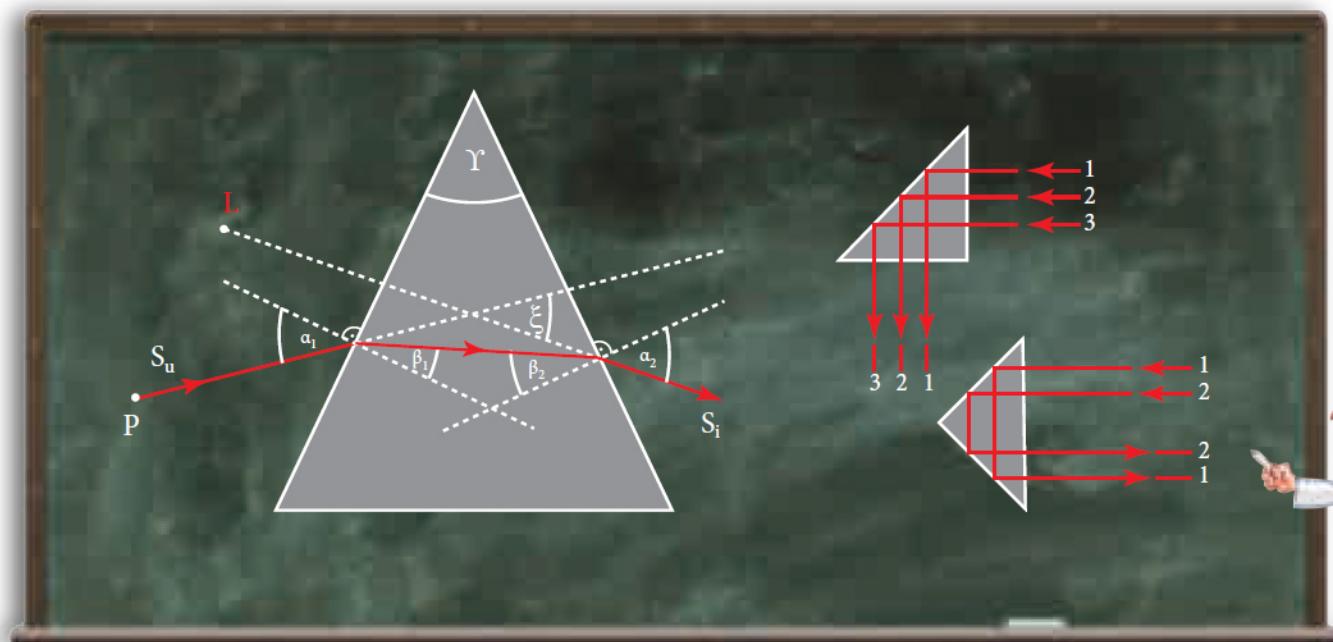


► Слика 2.25. Оптички кабл

## 2.4. ПРЕЛАМАЊЕ СВЕТЛОСТИ КРОЗ ПРИЗМУ И СОЧИВА

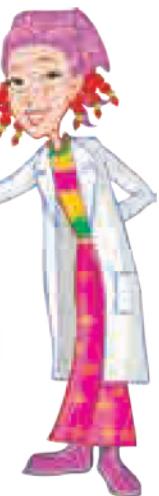
## ОПТИЧКЕ ПРИЗМЕ

Оптичка призма је тространа призма направљена од провидног материјала, најчешће од стакла. У току пролажења кроз њу, светлосни зрак се двапут преломи, осим ако зрак не пада нормално на бочну страну призме. При првом преламању је упадни угао већи од преломног, а при другом преламању преломни угао је већи од упадног. При томе, зрак светлости одступа од првобитног правца.



► Слика 2.26. Пролазак светлосног зрака кроз призму са елементима преламања

► Слика 2.27. Употреба призме за промену правца крећања светлости



За практичне потребе се често захтева скретање зрака за тачно одређени угао. За ту сврху погодна је стаклена призма којој је основица једнакокраки правоугли троугао (слика 2.27). Пропуштањем зрака светlostи нормално на стране призме, до преламања не долази, догађа се само тотална рефлексија на бочним странама. Помоћу оваквих призми могуће је светлосне зраке скренути за  $90^\circ$  или  $180^\circ$ .

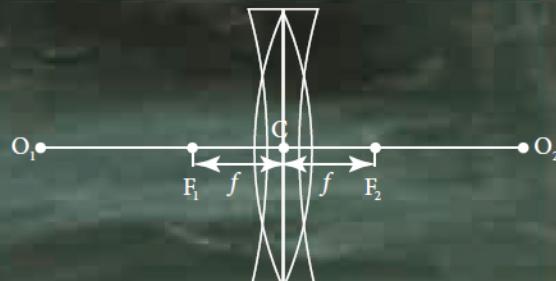
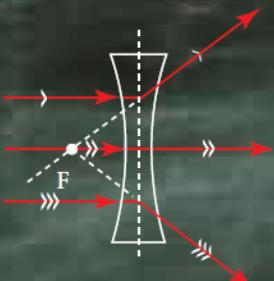
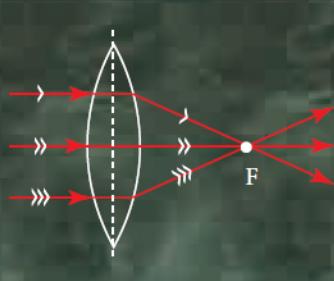
## ОПТИЧКА СОЧИВА



► Слика 2.28. Реалан изглед сочива

Оптичка сочива су провидна тела чије су обе граничне површине сферног облика, или је једна гранична површина равна, а друга сферна. Сочива могу бити од стакла, пластичне масе или неке друге провидне супстанције. И шупљина са сферним површинама, нпр. у стаклу, испуњена неком течношћу или гасом има особине сочива. Према облику и особинама, сочива се деле на сабирна и расипна. Када је оптичка густина сочива већа од оптичке густине околне (нпр. стаклено сочиво у ваздуху или води), сабирна сочива су дебља на средини него на крајевима, док су расипна тања на средини (слика 2.28 и слика 2.29).

И овде користимо шематско приказивање сочива у пресеку. У циљу једноставнијег цртања, не приказујемо двоструко преламање зрака. Уместо тога, уводимо раван нормалну на оптичку осу која пролази кроз центар сочива и која је на шеми представљена једном дужи на којој се онда врши преламање зрака.



► Слика 2.29. Код сабирног сочива, паралелни зраци се пресецају у фокусу (жижу).

► Слика 2.30. Код расијног сочива, паралелни зраци се разилазе као да иду из фокуса (жиже).

► Слика 2.31. Основни појмови код сочива

При проласку кроз сочиво у општем случају, зраци светlostи се преламају два пута. Због тога ће зраци имати другачији правац од упадног. Изузетак је зрак који пролази кроз оптички центар сочива. Да би се уочиле разлике између сабирних и расипних сочива, посматраће се пролаз паралелног споне светlostи.

Сабирна (конвергентна) сочива паралелни спон зрака светlostи скупља у једну тачку – жижу или **фокус**, док их расипна (дивергентна) сочива расипају, као да излазе из једне тачке (фокуса) (слика 2.30). Из слика се уочава да је фокус сабирног сочива стварно стечиште зрака, док је фокус расипног сочива првидно стечиште, тј. стечиште продужетака зрака. Такође је лако уочити да свако сочиво има два фокуса, једнако удаљена од центра сочива.

Постоје неки појмови који важе за обе врсте сочива. Правац  $O_1-O_2$  се назива **главна оптичка оса** сочива (слика 2.31). Оптичка оса сочива је нормална на граничне површине и пролази кроз средину сочива – оптички центар  $C$ . Истакнуте тачке су два фокуса  $F_1$  и  $F_2$  симетрично смештена на оптичкој оси. Удаљеност фокуса од оптичког центра је жижна даљина ( $f$ ) сочива.

Сочива, као и огледала, стварају лик предмета. Да би лик био потпуно одређен, потребно је поуздано утврдити: положај, врсту и величину лика.

## Одређивање положаја лица код сабирног сочива

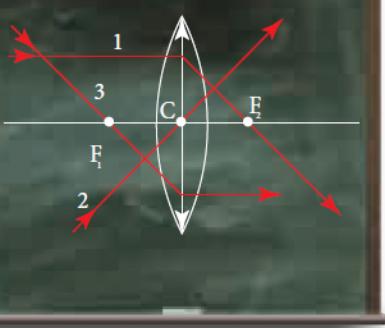
За конструкцију лица код сабирних сочива важе правила за 3 карактеристична зрака светlostи (слика 2.32) и оптичку осу.

1. Зрак 1 који је паралелан оптичкој оси, прелама се тако да пролази кроз жижу која је са друге стране сочива.

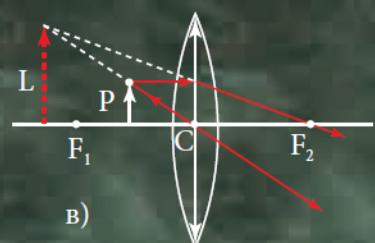
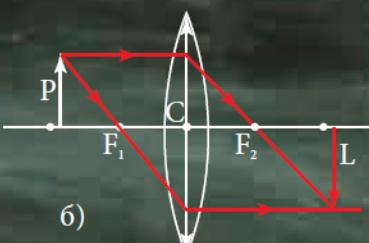
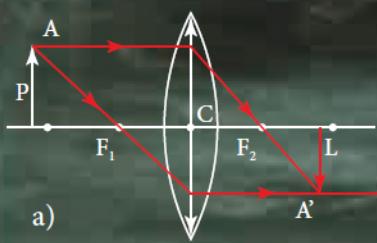
2. Зрак 2 који пролази кроз оптички центар – не прелама се.

3. Зрак 3 који пролази кроз жижу која је испред сочива, прелама се тако да са друге стране сочива наставља паралелно оптичкој оси.

Ако се предмет налази на оптичкој оси сочива, онда је, слично као и код огледала, довољно одредити положај лица ( $A'$ ) највише тачке предмета ( $A$ ). Све остале тачке лица налазе се између оптичке осе и  $A'$  (слика 2.33).



► Слика 2.32. Карактеристични зраци за сабирно сочиво



► Слика 2.33. Конструирање лика када се предмет налази на удаљености већој од  $2f$  од сочива (а), када се предмет налази између жиже и  $2f$  (б) и када се предмет налази између жиже и сочива (в)

У зависности од положаја предмета и сочива разликују се три случаја:

а) предмет (А) се налази на удаљености већој од  $2f$  (слика 2.33а)

Лик је стваран, обрнут и умањен. Из искуства са огледалима зnamо значење тих израза. Он се, наравно, може добити на застору.

б) предмет се налази између жиже и  $2f$  (слика 2.33б)

Лик је увећан, обрнут и стваран.

в) предмет се налази између жиже и сочива (слика 2.33в)

Лик је привидан, исправан и увећан.

### Одређивање положаја лица код расипног сочива

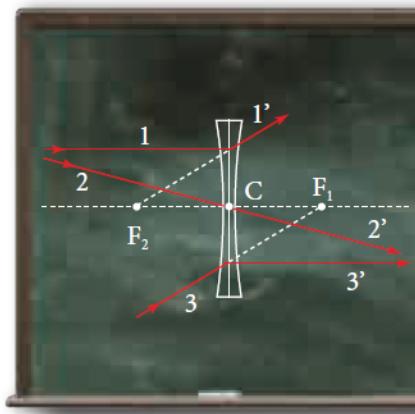
При конструкцији лица, код расипног сочива, користе се два од три карактеристична зрака (слика 2.34) и главна оптичка оса.

1. Зрак 1 паралелан са оптичком осом, прелама се у правцу као да је стигао из жиже са исте стране сочива са које је зрак и дошао.

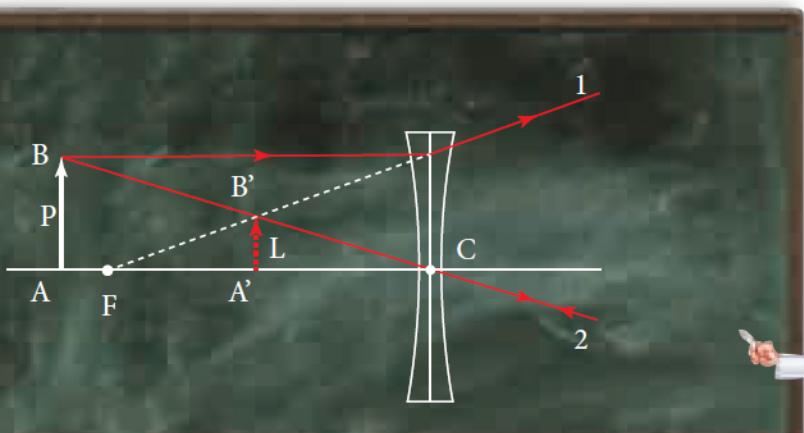
2. Зрак 2 пролази кроз центар сочива без промене правца.

3. Зрак 3 који је уперен према жижи с друге стране сочива прелама се паралелно оптичкој оси.

Расипна сочива образују само једну врсту лица ма где се предмет налазио (слика 2.35). Код њих се лицо увек образује на оној страни сочива на којој се налази предмет. Он је увек исправан, нестваран (привидан) и умањен.



► Слика 2.34. Карактеристични зраци за расипно сочиво

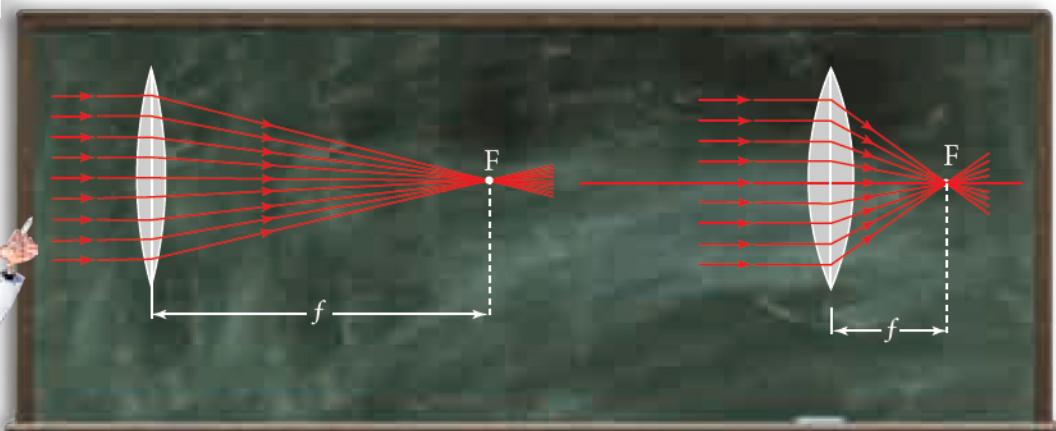


► Слика 2.35. Конструирање лика код расипног сочива



## ЈАЧИНА И УВЕЂАЊЕ СОЧИВА

Сочиво које мање прелама светлосне зраке, или, како се каже, *слабије сочиво*, тање је и има већу жижну даљину (слика 2.36).



► Слика 2.36. Веза жижне даљине и дебљине сочива

*Јаче сочиво је дебље и има мању жижну даљину. За јачину сочива мера је реципрочна вредност жижне даљине, тј.*

$$\omega = \frac{1}{f}.$$

Будући да се  $f$  задаје у јединици дужине, јединица за јачину сочива – диоптрија задата је као:  $1 \text{ D} = \frac{1}{1 \text{ m}} = \text{m}^{-1}$ .

Оптичка јачина је позитивна за сабирна сочива, а негативна за расипна.

Тако, нпр. оптичка јачина од + 0,5 D значи да је сочиво сабирно жижне даљине 2 m, а од - 0,5 D значи да је оно исте жижне даљине, али расипно.

Поред жижне даљине или оптичке јачине, веома важна карактеристика сваког сочива је његово **увеђање**. Увеђање сочива ( $u$ ) представља однос величине лика ( $L$ ) и предмета ( $P$ ):

$$u = \frac{L}{P}.$$

Ако је  $u > 1$  – каже се да сочиво увеђава, а ако је  $u < 1$  – да сочиво умањује предмет!



## ОПТИЧКИ ИНСТРУМЕНТИ: ЛУПА И МИКРОСКОП

Лупа или увеличавајуће стакло је најједноставнији оптички инструмент. Користе је часовничари, филателисти, лекари и др.

Свако сабирно сочиво може послужити као лупа. Потребно је само да се предмет постави између жиже и сочива. Тада се, према описаној конструкцији (слика 2.33в), добија увећан, усправан и привидан лик, и то на истој страни сочива на којој је и предмет.

Лупа може бити састављена од више сочива, при чему се оптичке јачине сочива алгебарски сабирају. Овакве комбиноване лупе могу увећавати и до 50 пута. Но, у пракси се најчешће употребљавају лупе са једним сочивом, које увећавају 4–10 пута.

За посматрање веома ситних предмета недовољна су увећања која се постижу лупом, па се зато користе оптички микроскопи. Њима се могу видети и тако ситни објекти као што су поједине ћелије биљака и животиња, бактерије и др.

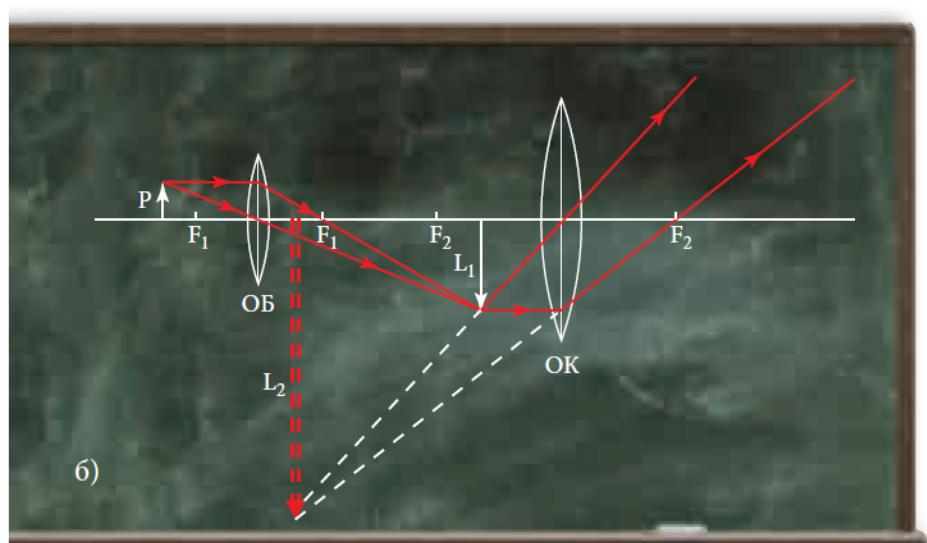
Микроскоп се састоји од **објектива** и **окулара**, стављених у једну цев (слика 2.37а). Објектив се налази уз предмет (објекат), а окулар уз око. Објектив је сабирно сочиво врло мале жижне даљине. Посматрани предмет се поставља нешто испред жиже објектива, тако да он даје стваран, обрнут и увећан лик. Геометријска конструкција лица код микроскопа приказана је на слици 2.37б. Овај лик се образује између жиже и сочива окулара. Окулар се понаша као лупа и увећава још једном овај лик.

Квалитет микроскопа цени се према увећању које се помоћу њега остварује. Увећање микроскопа *u* може се израчунати ако се увећање објектива  $u_{ob}$  помножи увећањем окулара  $u_{ok}$ :

$$u = u_{ob} \cdot u_{ok}.$$

Ово је лако израчунати, пошто су увећања обележена на сваком објективу и окулару.

Најбољи оптички микроскоп може имати увећање до 2 500.



► Слика 2.37. Спољни изглед савременог микроскопа (а) и конструкција лица код микроскопа (б).

## ЧОВЕЧИЈЕ ОКО КАО ОПТИЧКИ ИНСТРУМЕНТ

Око је природан (слика 2.38) оптички апарат. Очна јабучица је лоптастог облика. Делови ока проучавају се детаљно у биологији, а овде ће се истаћи само неке особине човековог ока, важне са гледишта оптике.

Очни капак служи за отварање и затварање пролаза светлосним зрацима у око. Зеница је отвор који се спонтано (без наше воље) скупља и шири и тиме пропушта у око више или мање светlostи.

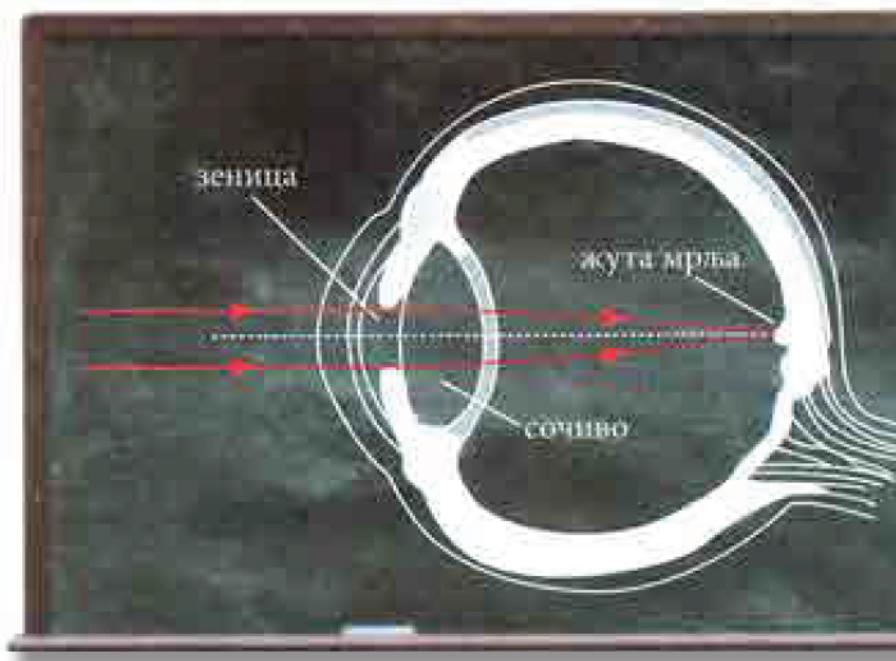
Очно сочиво је двоструко испупчено сабирно сочиво, жижне даљине око 2,5 см. Оно се може мењати у зависности од даљине предмета који се посматра (акомодација). Ово се постиже стезањем или опуштањем очног сочива, које се иначе састоји из слојева, слично главици црног лука. Очно сочиво образује стварне и умањене ликове.

Жута мрља је место на мрежњачи на коме се образује лик предмета који се гледа. Пречник жуте мрље износи неколико милиметара. Са ње се слика посматраног предмета преноси очним живцем у мозак. Лик предмета на мрежњачи је увек обрнут, а слика се „исправља“ у мозгу, у центру за вид.

Кратковидо око види близке предмете јасно, далеке предмете нејасно, а код далековидог ока је обрнуто. Ове мане се коригују употребом наочара или контактних сочива. Кратковидост се отклања расипним, а далековидост сабирним сочивом.

**Галилеј „открива“ небо**  
У претходним разредима помињали смо великог физичара Галилеја и његове доприносе механици. Његов основни допринос оптици је у томе што је схватио значај нових проналазака. Чим је чуо за доглед, направио је један (сам је и брусио сочиво). Када се уверио у његове могућности, понудио га је властима Млетачке републике указујући на практични значај: брод се може на пучини приметити додгледом много раније, а то значи да се лука може припремити за искрцање терета. За једну државу која је живела од трговине ово је било веома значајно. Тако је Галилеј склопио добар посао.

После тога, Галилеј одлучује да посматра небо и тиме у ствари почине употреба телескопа. Ни у томе није био први, али је први овоме посветио пажњу и уочио једну битну чињеницу: небеска тела нису таква како је Црква тога времена учила. Галилеј је открио сателите других небеских тела и то је указало да Земља није јединствена. Објављивање резултата посматрања небеских тела довело је до првог Галилејевог озбиљнијег сукоба са свештеницима, који ће касније кулминирати његовим појављивањем пред инквизицијом.



► Слика 2.38. Шематски пресек ока са јућањем зрака





## ПОСЕБНО УПАМТИТИ



Извори светlostи могу бити природни и вештачки. У светlosnim изворима се топлотна, хемијска, атомска или неки други видови енергије – претварају у светlosnu енергију.

Светlost се простира праволинијски и сликовито приказује зрацима. Последица оваквог простирања светlostи су појаве сенке и полусенке којима се објашњавају појаве помрачења Месеца и помрачења Сунца.

Брзина светlostи у вакууму је највећа позната брзина у природи и износи:

$$c \approx 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

Однос брзина светlostи у двема датим срединама је релативни индекс преламања, који је једнак односу брзина светlostи у тим срединама:

$$n_r = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Релативни индекс преламања обрнуто је сразмеран односу апсолутних индекса преламања светlostи за те две средине.

Закон одбијања светlostи: Упадни угао једнак је одбојном углу и упадни зрак, нормала и одбијени зрак леже у истој равни.

Лик код равног огледала налази се са друге стране огледала, на истом растојању од огледала као и предмет. Управан је, привидан и по величини једнак предмету.

Сферна огледала могу бити издубљена и испупчена. Она имају: центар кривине, жижу (фокус), оптичку осу и теме.

Сноп паралелних зрака се након одбијања: сече у (стварној) жижи (код издубљених) или се одбија правцем као да полазе из (привидне) жиже (код испупчених огледала). Жика се налази на половини растојања између темена и центра кривине:

$$f = \frac{r}{2}.$$

За конструкцију ликова код издубљеног огледала користе се карактеристични зраци:

1. зрак који пролази кроз центар кривине – пошто је нормалан на огледало, одбија се у истом правцу, а у супротном смеру,
2. зрак који је паралелан са оптичком осом – одбијени зрак пролази кроз жижу,
3. зрак који пролази кроз жижу – одбијени зрак је паралелан са оптичком осом и
4. зрак који пада у теме огледала под извесним углом са оптичком осом, а одбија се под истим углом.

За конструкцију ликова код испупченог огледала користе се карактеристични зраци:

1. зрак који иде према центру кривине – одбија се у правцу доласка, а у супротном смеру,
2. зрак који је паралелан са оптичком осом – одбија се и расипа као да је пошао из (привидне) жиже,
3. зрак који иде према (привидној) жижи – одбија се паралелно оптичкој оси и
4. зрак који пада у теме – одбија се под истим углом у односу на оптичку осу.

**Закон преламања светlosti:** Упадни зрак, нормала и преломљени зрак леже у једној равни. Када зрак прелази у оптички гушћу средину, преломни угао је мањи од упадног и обрнуто.

Тотална рефлексија настаје само када светлосни зрак прелази из оптички гушће у оптички ређу средину и ако је упадни угао већи од граничног угла.

Оптичке призме мењају (закрећу) правац простирања зрака.

За конструкцију лика код сабирног сочива, користе се карактеристични зраци:

1. зрак који је паралелан оптичкој оси – прелама се тако да пролази кроз жижу која је са друге стране сочива,
2. зрак који пролази кроз оптички центар – не прелама се и
3. зрак који пролази кроз жижу која је испред сочива – прелама се тако да са друге стране сочива наставља паралелно оптичкој оси.

За конструкцију лика код расипног сочива, користе се карактеристични зраци:

1. зрак паралелан са оптичком осом – прелама се као да је стигао из (привидне) жиже која се налази са исте стране одакле је зрак и дошао,
2. зрак који пролази кроз центар сочива – пролази без промене праваца
3. зрак који је усмерен према жижи с друге стране сочива – прелама се паралелно оптичкој оси.

Јачина сочива се дефинише као реципрочна вредност жижне даљине и изражава у диоптријама:

$$\omega = \frac{1}{f}; \quad 1D = 1\text{m}^{-1}.$$

Увећање сочива представља однос величина лика и предмета:

$$u = \frac{L}{P}.$$

Лупа је сабирно сочиво при чему се предмет поставља између жиже и сочива. Његов лик је привидан, усправан и увећан.



Оптички микроскоп поседује објектив и окулар – системе сабирних сочива. Окулар ради као лупа и увећава увећан лик предмета којег формира објектив. Увећање овог микроскопа једнако је производу увећања објектива и увећања окулара:

$$u = u_{\text{ob}} \cdot u_{\text{ok}}.$$

### ПИТАЊА

1. Када долази до потпуног или делимичног помрачења Месеца?
2. Колика је брзина простирања светlostи кроз уље чији је индекс преламања једнак 2?
3. Колико је пута брзина светlostи већа од брзине звука у ваздуху?
4. Средња удаљеност Месеца од Земље износи 384 000 km. За које време светlost превали тај пут?
5. Под којим углом пада зрак светlostи ако упадни и рефлексовани (одбијени) зрак заклапају угао од  $70^\circ$ ?
6. Од чега зависи жижна даљина сферних огледала?
7. Где се мора налазити предмет испред издубљеног огледала да би се добили стварни ликови, а где да би се добио привидан лик?
8. Где се налази лик издубљеног огледала, ако се предмет налази у жижи?
9. Шта се догађа са зрацима светlostи када дођу до границе двеју различитих оптичких средина?
10. Када се помоћу сабирних сочива добијају увећани ликови?



### ПИТАМ СЕ, ПИТАМ

1. Како настају Месечеве мене?
2. Каква се огледала налазе у унутрашњости аутомобила, а каква су огледала са спољне стране возила?
3. Како се на први поглед може утврдити да ли су сочива у наочарима сабирна или расипна?

(Одговоре пронађите сами користећи литературу и неки интернет претраживач, нпр. Google Search, Wikipedia и сл.)

Почећемо да изучавамо науку о електричитету. При томе ћемо прећи дуг пут. Најпре ћемо се бавити наелектрисањима која мирују (**електростатика**), па затим наелектрисањима у кретању (**електродинамика**). Појасни-ћемо настанак електричних појава у атмосфери, муњу и гром.

# 3. ЕЛЕКТРИЧНО ПОЉЕ



По предању, један од мудраца древне Грчке, филозоф Талес (VII-VI век п. н. е.) први је уочио како комад сиврсног органске смоле ћилибара (јантара), када се протрља, привлачи ситне честице. Како се на грчком „ћилибар“ каже „електрон“ он је ову особину тако и назвао и одатле данашњи називи.

Детаљнија верзија овог предања каже да је Талесова ћерка која је имала шнalu са чешљем од ћилибара приметила да после дужег чешљања шнala почиње да мрси косу уместо да је равна. Скренула је очу пажњу на то и тако је почело његово истраживање.

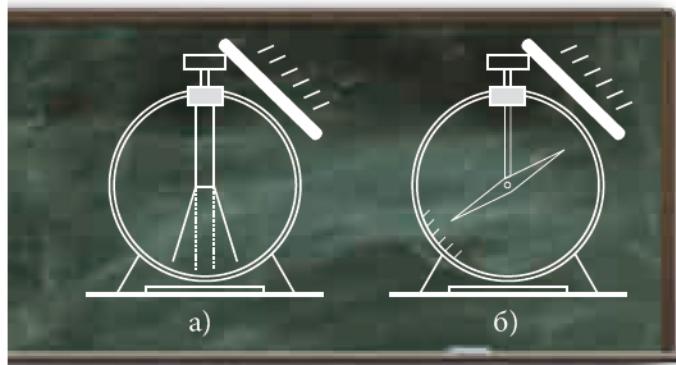


### 3.1. НАЕЛЕКТРИСАВАЊЕ ТЕЛА

У градиву физике за 6. разред обрађена је лекција: *Електрична сила*. Тамо је објашњено да постоји једна особина супстанције која се назива **наелектрисање**. Прецизније, постоје две врсте наелектрисања: позитивно и негативно. Тела се могу наелектрисати, на пример, трењем (ебонитна или поливинилска шипка – крзном, а стаклена – папиром или свиленом тканином). Са једног тела се може наелектрисање пренети на друго. По договору, наелектрисање које се после трљања појављује на стакленој шипки назива се **позитивним**, а наелектрисање које се јавља на еbonитној шипки назива се **негативним**. Ако тело нема наелектрисање, кажемо да је **електроноутрално** или једноставно **неутрално**.

Још у 6. разреду смо говорили о томе да наелектрисана тела делују на друга наелектрисана тела (интерагују са њима). Тела се одбијају ако су наелектрисана истом врстом, а привлаче ако су наелектрисана различитим врстама електрицитета. Дакле, **електрична сила може бити и привлачна и одбојна**.

Да ли је неко тело наелектрисано или не проверавамо инструментом који се назива електроскоп (слика 3.1a) и то закључујемо по раздвајању листића или померању игле. Ако је инструмент снабдевен и скалом, онда се назива електрометар. Електрометром (слика 3.1б) се може утврдити да ли је неко тело наелектрисано мањом или већом количином електрицитета. То се закључује према скретању казаљке електрометра. Угао скретања је утолико већи уколико је тело наелектрисано већом количином електрицитета.



► Слика 3.1. Електроскоп и електрометар

Сада покушајмо да, користећи знања о грађи супстанције, објаснимо шта се дешава. Још у 7. разреду смо објаснили да се тела сastoјe од молекула, а у настави хемије сте научили да се молекули сastoјe од атома. Но, ту није крај – и атоми се сastoјe од још ситнијих честица.

У средишту атома је његово **позитивно наелектрисано језгро** (или **нуклеус**). Оно се сastoји од позитивних – **протона** (p) и електроноутралних честица – **неутрона** (n). Око језгра се крећу (кажемо да „круже“) негативно наелектрисане честице – **електрони** (e). Протони и електрони имају једнаке количине наелектрисања, али супротног знака: протони +e, а електрони -e.



Ознака е се односи на ту посебну количину наелектрисања коју носе протони и електрони, а која се често назива и **елементарно наелектрисање**. Битно је нагласити да у природи није измерена мања количина наелектрисања од ове.

Маса електрона је око 1840 пута мања од масе протона. Када су они отргнути од атома, могу се лако покренути дејством неке спољашње силе.

Бројни експерименти показују да атоми садрже једнак број протона и електрона, па је разумљиво да су због тога електронеутрални. Зато су и тела, која се састоје из мноштва атома, такође електронеутрална. Нарушавањем равнотеже броја протона и електрона, тело постаје наелектрисано. Када се каже да је кугла на изолованом постољу позитивно наелектрисана (слика 3.2), то значи да је из ње „одстрањен“ известан број електрона. Због тога је укупан број позитивних елементарних наелектрисања (протона) већи од укупног броја електрона.

Ако је неко тело наелектрисано негативно, то значи да је укупан број његових електрона већи од укупног броја протона у језгрима.

Када се стаклена шипка пропре свиленом тканином, електрони са стакла прелазе на свилу. На стакленој шипки се јави мањак електрона у односу на број протона, па се она наелектрише позитивно. Истовремено, на тканини постоји више електрона него протона, тј. јавља се вишак негативног електричитета. Значи, свиlena тканина се наелектрише негативно. Поливинилска шипка пропрета вуненом тканином наелектрисаће се негативно, јер електрони са вуне прелазе на поливинил, док на вуни остаје мањак електрона. Значи, при трењу електрони прелазе са једног тела на друго, док се протони не крећу. Са кога ће тела електрони прелазити, зависи од врсте тела која се тарује.

**Тела се наелектришу на тај начин што електрони прелазе са једног тела на друго.**

Прелазак електрона може се остварити на још један начин. Ако тело има вишак електрона, и њиме додирнемо друго тело на којем не постоји (толики) вишак електрона, они ће такође прећи на то друго тело. Овде се дешава појава **наелектрисања додиром**. Обрнуто, ако неутрално тело додирнемо позитивно наелектрисаним телом (мањак електрона), електрони ће са неутралног тела прећи на њега, па ће сада и неутрално тело бити позитивно наелектрисано.

Објаснимо сада како у ствари ради електроскоп. Када се на њега пренесе неко наелектрисање, оно се распореди по свим деловима и тако се два истоимено наелектрисана листића одбијају и по томе ефекту знамо да је тело којим смо додирнули електрометар наелектрисано. Уколико се користе један непокрatan статив и покретна казаљка, долази до одбијања између наелектрисања на стативу и казаљки, а јачину сile одбијања ценимо по углу кретања казаљке. Ако постоји скала на којој се може читати угао, онда је реч о електрометру.



►Слика 3.2. Кула на изолованом постољу

Често се користи и израз да је нешто „ненаелектрисано“, но ми не користимо тај израз јер нас он наводи на помисао да тело уопште нема наелектрисања, а како смо видели то није тачно.

Уочите да израз „наелектрисање“ користимо у два различита значења. Може да означава особину честица, или, исто тако, и процес којим се на неком телу ствара вишак или мањак електрона. Понекад се у циљу прављења разлике за процес користи израз „наелектрисавање“.

Назив „позитивно“ и „негативно“ увео је амерички научник, проналазач, публициста и политичар Бенџамин Франклин (Benjamin Franklin, 1706-1790). По једној анегдоти, он је видео огледе са електричитетом као вешарску атракцију и од извођача откупио целу опрему да би сам изводио огледе. О његовом најпознатијем огледу говорићемо касније. Нажалост, видећемо у наредним лекцијама да би нам живот био много једноставнији да је „стаклено“ наелектрисање назвао негативним, а „смоласто“ (јер у његово време још није било ебонита) позитивним.



## 3.2. ЕЛЕМЕНТАРНА КОЛИЧИНА НАЕЛЕКТРИСАЊА. ЗАКОН О ОДРЖАЊУ НАЕЛЕКТРИСАЊА

Према досадашњим схватањима наелектрисање електрона  $e$  је најмања количина наелектрисања и не може се делити, зато се она назива **елементарна количина наелектрисања** или квант електрицитета.

Пошто електрон и протон поседују елементарно наелектрисање, погодно је ту количину наелектрисања узети за јединицу. То, међутим, није учињено јер је наелектрисање једног електрона врло мало.

Јединица за мерење количине наелектрисања је кулон (C). Један кулон садржи наелектрисање 6,24 трилиона електрона, тј.

$$1 \text{ C} = 6,24 \cdot 10^{18} e.$$

Елементарно наелектрисање је онда:

$$1 e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

Количина електрицитета којом је тело наелектрисано износи:

$$q = n \cdot e,$$

где је  $n$  број који показује разлику броја протона и електрона у телу, а  $e$  је елементарно наелектрисање.

При наелектрисавању тела не ствара се наелектрисање; оно се само раздваја и преноси са тела на тело. Укупан број позитивних и негативних елементарних наелектрисања остаје непромењен.

Овај закључак је познати **Закон одржања наелектрисања** и има општи значај.

Сада бисмо могли да изведемо један једноставан експеримент. Претпоставимо да се наелектрише један електрометар помоћу стаклене шипке која је протрљана свилом, а други исти такав помоћу поливинилске шипке, протрљане крзном. Наелектрисање једног и другог електрометра се врши све док њихове казаљке не скрену до истог подеока, односно док се оба електрометра не наелектришу истим количинама наелектрисања (слика 3.3а). Ако се затим куглице електрометра споје металном шипком или жицом, казаљке се враћају у нулти положај (слика 3.3б). Из овог огледа закључује се следеће:

**Једнаке количине наелектрисања супротног знака међусобно се неутралишу.**



► Слика 3.3. Два електрометра су наелектришана једнаким количинама наелектришана или супротној знака (а); посље стајања проводником, електрометри не показују наелектрисаност – наелектришана су се неутралишала (б)



## ПОДЕЛА МАТЕРИЈАЛА ПО ЕЛЕКТРИЧНИМ ОСОБИНАМА

Вратимо се на описани оглед. Наелектрисање је, значи, са негативно наелектрисаног електрометра прешло кроз шипку на позитивно наелектрисани електрометар (слика 3.3б), што значи да метална шипка проводи електричитет. Сва тела која имају ову особину називају се **проводници**. Ако се овај оглед изведе са пластичном шипком, уместо са металном, електричитет неће прелазити са једног електрометра на други, што значи да пластика није проводник електричитета, па се каже да је она **изолатор**. У проводницима (поред електрона у атому) има **слободних електрона**, који су се ослободили своје атомске везе, па се могу кретати слободно кроз проводник. Ови електрони су се само ослободили веза у атому и они нису вишак, дакле због њих метал није наелектрисан.

**Слободни електрони условљавају проводљивост чврстих тела.**

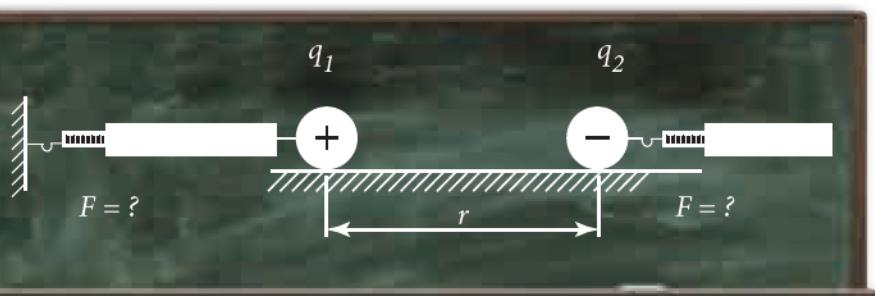
Сва тела која поседују велику густину слободних електрона јесу проводници. То су сви метали и графит. Проводници су и водени раствори база, киселина и соли. Људско тело је такође добар проводник електричитета. Због тога се електроскоп разелектрише када се додирне прстом.

У изолаторима нема слободних електрона, или их има врло мало. Изразити изолатори су: гума, стакло, порцелан, поливинил, дестилована вода, сви гасови.

Ваше животно искуство вам каже да ствари никад нису „црно-беле” већ постоје и прелазни облици који су често најзанимљивији. Конкретно, ни овде нема оштрих граница између проводника и непроводника (изолатора), тако да се неке супстанције, као што су германијум и силицијум, сматрају **полупроводницима**. Различитим деловањем њихове проводне особине се могу мењати између особина проводника и изолатора и управо стога они представљају основу савремене електронике.

### 3.3. УЗАЈАМНО ДЕЛОВАЊЕ НАЕЛЕКТРИСАНИХ ТЕЛА – КУЛОНОВ ЗАКОН

До сада смо научили да наелектрисана тела делују силом на друга наелектрисана тела и да та сила може бити привлачна и одбојна. Али колики је интензитет ове силе? Од чега она зависи?



► Слика 3.4. Одређивање силе између наелектрисаних тела

Колико научни свет цени Кулонове резултате добијене изузетно прецизним мерењем за његово време, показује и чињеница да је по њему добила назив јединица за количину електрицитета.

Прије него што се уочије да се сила смањи са квадратом растојања, се морају извести мерења са већим растојањима. Поступак је да се најпрво изведе мерење са већим растојањем, например  $r_1$ , а потом са мањим, например  $r_2$ . Потребно је да се мере силе  $F_1$  и  $F_2$  које се додељују наелектрисаним телама. Потом се израчује интензитет сила  $F_1$  и  $F_2$  као  $F_1 = k \frac{q_1 q_2}{r_1^2}$  и  $F_2 = k \frac{q_1 q_2}{r_2^2}$ .

Ако се сада менеје количина електрицитета, напр.  $q_2$ , а  $q_1$  остаје непромењено, сила се повећа 9 пута, или ако је  $r_2 = r_1/2$ ,  $F_2 = 4F_1$  ... Одавде се закључује да се интензитет електричне силе смањује са квадратом растојања између наелектрисана. (Динамометар има неку своју границу осетљивости и зато он на већим растојањима показује да је сила једнака нули иако она постоји или је врло мала.)

Ако се сада менеје количина електрицитета, напр.  $q_2$ , а  $q_1$  остаје непромењено и мерење врши увек при истом растојању међу куглама, показаће се да два пута већи количини електрицитета ( $2 q_2$ ) одговара два пута већи интензитет електричне силе ( $2F_1$ )! Ако се испроба са  $3 q_2$ , добиће се  $3F_1$ . Исто би се добило и ако би се менјала количина електрицитета  $q_1$ . Ако се обе количине електрицитета истовремено менјају, напр. за  $2q_1$  и  $3q_2$ , било би  $6F_1$  ...

Може се закључити да се интензитет електричне силе повећава онолико колико се пута повећа производ количина електрицитета ових наелектрисана.

Конечно, постоји и утицај средине јер није свеједно у којој средини се наелектрисања налазе.

Ове чињенице исказује познати Кулонов закон (Charles Augustin Coulomb, 1736–1806), који гласи: **две наелектрисане кугле се привлаче или одбијају силом која је сразмерна њиховим количинама електрицитета, а обратно сразмерна квадрату међусобног растојања.** Правац дејства електричне силе је правац који спаја центре тих кугли. При томе је важно напоменути да су димензије кугли занемариве у односу на њихово растојање.

Математички исказ овог закона је:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Константа сразмерности у Кулоновом закону зависи од средине у којој се налазе наелектрисана тела.





## 3.4. ПОЈАМ И ПРЕДСТАВЉАЊЕ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЉА

Ми смо свесни чињенице да ће, ако постоји неко позитивно наелектрисано тело, на свако позитивно наелектрисано тело које му се приближи деловати одбојна сила, док ће свако негативно наелектрисано тело бити привлачено. Сетимо се да смо овакву ситуацију већ спомињали говорећи о сили гравитације. Земља ће привући свако тело које јој се приближи, а ми једноставно кажемо да око Земље постоји гравитационо поље. Исто тако можемо рећи да око наелектрисаног тела постоји електрично поље, којим оно делује на друга наелектрисана тела. Основна разлика је у томе, што електрична сила може бити и привлачна и одбојна па морамо пазити како приказујемо електрично поље.

Електрично поље се графички приказује **линијама силе** (**линијама поља**). Распоред и облик линија силе поља око наелектрисаног тела у простору могу се показати узаним тракама од хартије причвршћеним за врх металног стубића који је постављен на изолаторско постолje (слика 3.5). Док је метални стубић ненаелектрисан, траке су опуштене, међутим, кад се стубић наелектрише, траке се зракасто шире. Уместо трака од хартије могу се употребити и текстилна влакна. Траке својим распоредом показују правце деловања електричних сила око наелектрисаног тела (слика 3.5).

**Електричне линије сила су замишљене линије које се поклапају са правцем дејства сила електричног поља.**

За смер линија силе електричног поља по договору је узет смер кретања позитивног наелектрисања у том пољу. Стога линије силе поља позитивно наелектрисаног тела имају смер од тела, а негативно наелектрисаног ка телу (слика 3.6). Линије силе електричног поља служе за сликовито приказивање поља.

Што поље јаче делује на наелектрисања, то је број линија поља већи, тј. оне се згушњавају. Физичка величина којом описујемо овај утицај електричног поља је **јачина електричног поља**  $E$ . Ова величина има правац и смер силе којом електрично поље делује на позитивно наелектрисање. Њен интензитет је одређен силом којом поље делује на јединично наелектрисање, значи

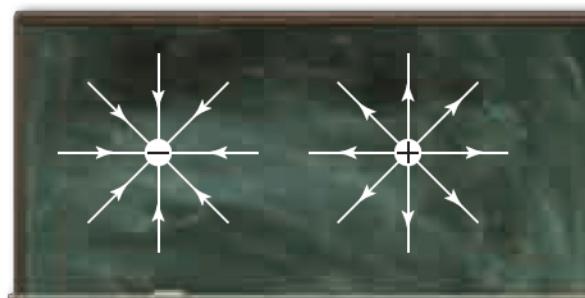
$$E = \frac{F}{q} .$$

Одавде следи и јединица за јачину електричног поља а то је N/C.

Ако се електрично поље не мења током времена, оно је **константно**. Ако у неком делу простора електрично поље у свакој тачки има исти правац, смер и интензитет, кажемо да је поље **хомогено**. (У супротном случају је **нехомогено**.) Пример хомогеног поља је електрично поље у простору између две супротно наелектрисане плоче.



► Слика 3.5. Метални стубић са тракама од хартије



► Слика 3.6. Шематски приказ линија силе

## УТИЦАЈИ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЉА

Када се негативно наелектрисана поливинилска шипка принесе електроскопу, његови листићи ће се раширити иако се електроскоп не додирне ( слика 3.7). Када се шипка уклони, листићи ће се скупити. Ширење листића

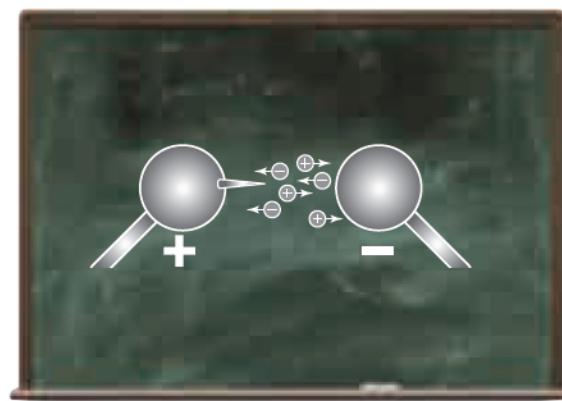
би значило да се електроскоп у овом случају наелектрисао јер се нашао у електричном пољу наелектрисане шипке, и да се разелектрисао одстранјивањем овог поља (удаљавањем наелектрисане шипке). У ствари, електроскоп се уопште није наелектрисао, јер му није преношено наелектрисање са шипке.

Ова појава се објашњава великом покретљивошћу слободних електрона у металима. Када се електроскоп нађе у електричном пољу негативно наелектрисане шипке настаје одбојно дејство између негативног наелектрисања на шипки и слободних електрона у електроскопу. Услед тога ће слободни електрони, под дејством сила електричног поља, прећи на доњи крај електроскопа, који на тај начин, постаје негативно наелектрисан. У исто време горњи крај електроскопа постаје позитивно наелектрисан, пошто се у њему јави мањак електрона. При томе, укупна количина позитивних и негативних наелектрисања у телу се није променила. Ова појава се назива електрична инфлуенција или наелектрисање тела без додира. Дакле, тела се наелектишу инфлуенцијом услед раздвајања наелектрисања у њима под дејством електричног поља.

► Слика 3.7. Наелектрисавање тела без додира

Инфлуентна машина  
Један од најстаријих уређаја за производњу електричитета је била тзв. инфлуентна машина која користи наелектрисавање трењем и електричном инфлуенцијом. Обично се окреће осовина која носи две паралелне плоче, а на изводима се налазе две кугле које се наелектишу различитим наелектрисањем. Иако је принцип рада једноставан, сама конструкција машине је сложена, па је нећемо овде објашњавати, али морамо нагласити да су бројна истраживања изведена помоћу ње и да се и данас можда може наћи у неком кабинету за физику.

Искуство показује да се на једном телу наелектрисање концентрише на оштром крајевима. Последица тога је да рецимо позитивно наелектрисање на шиљку одбија позитивне јоне ваздуха и постаје „ветар”, а сама појава се назива „ефекат шиљака” ( слика 3.8). Уколико у простору постоје наелектрисања која могу слободно да се крећу и ако се на неки начин успостави електрично поље, онда ће позитивна наелектрисања да се крећу у **смеру поља**, док ће се негативна наелектрисања кретати **супротно од смера поља**. Овим кретањем ћемо се детаљније бавити у наредној глави.



► Слика 3.8. Илустрација ефекта шиљка



## 3.5. ЕЛЕКТРИЧНИ НАПОН. РАД СИЛЕ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЉА

Два истоимена наелектрисања се одбијају Кулоновим силама. У условима без трења и отпора средине она би се удаљавала једно од другог. Значи да се под дејством електричних сила врши рад. Ако је једно наелектрисање фиксирано – креће се друго, што значи да има кинетичку енергију.

### ЕЛЕКТРИЧНИ НАПОН

Уколико се у простор око неког наелектрисаног тела (у његово електрично поље) унесе неко наелектрисање  $q$ , све док се држи у некој тачки поља, наелектрисање  $q$  има електричну потенцијалну енергију ( $E_p$ ). Та потенцијална енергија је пропорционална количини електричитета тог тела:  $E_p = V \cdot q$ . Према томе, потенцијална енергија јединице (позитивног) наелектрисања

$$V = \frac{E_p}{q}$$

представља карактеристику електричног поља у тој тачки и назива се **електрични потенцијал**.

Јединица електричног потенцијала је **волт (V)**. Из дефиниције потенцијала следи:

$$1V = \frac{1J}{1C} = 1\frac{J}{C}.$$

Тачка поља има потенцијал од 1 V ако у њој наелектрисање од 1 C има потенцијалну енергију 1 J.

Проблем са којим се овде срећемо јесте чињеница да се потенцијална енергија увек одређује у односу на неку вредност и обично се за нулту вредност бира рецимо енергија тла или пода вежбаонице („земља“).

Целокупна терминологија подсећа на гравитациону потенцијалну енергију. Тако се за тачку која има већу вредност потенцијала, каже да је „на вишем потенцијалу“ од тачке која има мању вредност потенцијала („на нижем потенцијалу“).

Будимо прецизнији. Терминологија се односи на позитивно наелектрисање. Ако се подсетимо закона одржања енергије из 7. разреда, можемо да размишљамо на следећи начин: знамо да је позитивно наелектрисање „извор“ електричног поља.

1. Осцилације и таласно кретање

2. Светлост

**3. Електрично поље**

4. Електрична струја

5. Магнетно поље

6. Елементи атомске и нуклеарне физике

7. Физика и савремени свет

Ако позитивно наелектрисање приближавамо другом позитивно наелектрисаном телу (крећемо га супротно од смера поља), при томе улажемо рад, и зато ово тело стиче потенцијалну енергију (расте му потенцијал). Супротно томе, ако негативно наелектрисање привлачи позитивно наелектрисање, значи не улажемо никакав рад за његово приближавање, већ сила поља врши рад. Дакле, тело не стиче никакву енергију, и можемо рећи да има „негативну“ потенцијалну енергију. (Ово зато што смо дефинисали енергију као способност тела да изврши рад.)

Ако две тачке електричног поља или два наелектрисана тела имају различите електричне потенцијале:  $V_1$  и  $V_2$ , при чemu је  $V_1 > V_2$ , тада између њих влада **електрични напон** ( $U$ ):

$$U = V_1 - V_2.$$

Јединица за електрични напон, као и јединица за електрични потенцијал, је **волт**. Обратимо пажњу да се често користи израз „разлика потенцијала“. Када треба бити прецизан, обично се разлика потенцијала између две тачке, нпр. А и В пише као  $U_{BA} = V_B - V_A$ .

Одавде следи још једна битна особина. Посматрајмо у пољу три тачке А, В и С. Нека је  $U_{BA} = V_B - V_A$ , а  $U_{CB} = V_C - V_B$ . Ако саберемо ове две величине, налазимо  $U_{CB} + U_{BA} = V_C - V_B + (V_B - V_A) = V_C - V_A$ . Овај резултат да се разлике потенцијала тачака могу једноставно сабирати, користићемо касније.

Ако мало размислимо, схватићемо да у тачкама са различитим потенцијалима електрично поље делује на наелектрисано тело силама различитог интензитета. Тачки са вишim потенцијалом ће одговарати сила већег интензитета, док ће у тачки нижег потенцијала та сила бити мања. Уколико у пољу позитивно наелектрисаног тела померамо друго тело, позитивног наелектрисања, јасно је да се за постизање више потенцијалне енергије мора уложити неки рад да би се позитивно наелектрисање кретало супротно од смера поља, тј. од места где на њега делује мања одбојна сила ка месту где је то одбијање веће. Но уколико се покретно наелектрисање препусти дејству електричног поља, јасно је да ће га Кулонове силе покренути од места вишег потенцијала ка месту нижег потенцијала. Ако тако размишљамо, видећемо да је постојање разлике потенцијала између две тачке, неопходан услов да дође до кретања наелектрисања између њих. Штавише, ако две тачке у пољу које имају различите потенцијале спојимо проводником, долази до кретања наелектрисања све док се потенцијали не изједначе. Прича је потпуно идентична и за негативно наелектрисана тела, само ће се она под дејством електричног поља кретати од тачке са нижим потенцијалом ка тачки са вишim потенцијалом. Да би се то лакше разумело, довољно је само замислiti негативно наелектрисано тело које може слободно да се креће у пољу непокретног тела позитивног наелектрисања.

Напон џепне батерије четвртастог облика је 4,5 V. То је у ствари разлика потенцијала између њених половина, тј. металних прикључака на батерији. Исто тако је напон електричне мреже у кући 220 V. Ово је потенцијална разлика између два проводника којима се електрична енергија преноси до потрошача (сијалице, грејалице, пегле итд.). На слици 3.9 приказани су различити типови батерија које данас користимо.



► Слика 3.9. Различити типови батерија



## РАД СИЛЕ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЉА. ВЕЗА НАПОНА И ЈАЧИНЕ ХОМОГЕНОГ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЉА

Посматрајмо детаљније две тачке у електричном пољу у којима наелектрисање има различите потенцијалне енергије. Из дефиниције електричног напона

$$U = V_1 - V_2 = \frac{E_{p1}}{q} - \frac{E_{p2}}{q} = \frac{\Delta E_p}{q}$$

следи:

$$\Delta E_p = q \cdot U.$$

Пошто је промена електричне потенцијалне енергије, при премештању наелектрисања  $q$ , једнака раду електричног поља, добија се:

$$A = q \cdot U.$$

Рад извршен при премештању наелектрисања између две тачке у електричном пољу не зависи од тога кроз које тачке пролази наелектрисање. Рад зависи само од положаја почетне и крајње тачке на путањи наелектрисања, дакле од електричног напона.

Конкретно, при премештању количине електричног поља од 1 C, из једне у другу тачку електричног поља између којих постоји електрични напон од 1 V, врши се рад од 1 J.

Како се мери напон, говорићемо у наредном поглављу када будемо говорили како се мери јачина електричне струје.

Нека је поље у неком делу простора хомогено (слика 3.10). Онда је сила којом поље делује на наелектрисање у свакој тачки простора једнака и има интензитет

$$F = q \cdot E.$$

Ако се под њеним дејством наелектрисање помери за пут  $d$  дуж поља (од тачке A до B на слици 3.10), извршени рад је једнак

$$A = F \cdot d = q \cdot E \cdot d.$$

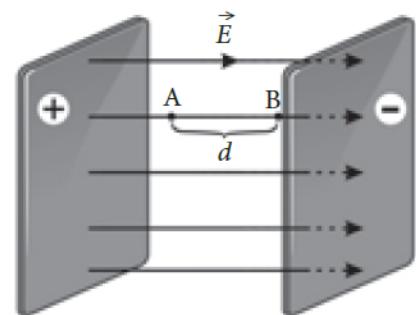
Како је рад једнак  $A = q \cdot U$ , видимо да је

$$U = E \cdot d.$$

Одатле следи да је интензитет јачине хомогеног електричног поља у простору између две тачке са разликом потенцијала  $U$  једнак

$$E = \frac{U}{d}.$$

Одавде следи још једна, много чешће коришћена јединица за јачину електричног поља, а то је 1 V/m.



► Слика 3.10. Хомогено електрично поље између две равномерно наелектрисане плоче

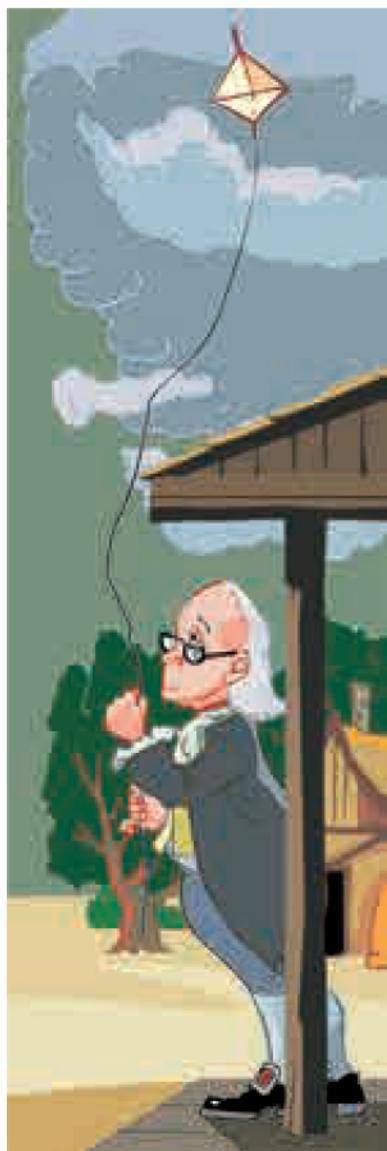
## 3.6. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЈАВЕ У АТМОСФЕРИ

Људи су од древних времена сведоци електричних појава у природи, пре свега удара громова. Разумевање електричног карактера ових појава почело је тек са развојем науке о електричитету. Строг а уједно врло ефектан доказ да је гром у ствари електрична варница, дао је раније поменути Бенџамин Франклин. Да би показао да се гром понаша као велика електрична варница какву је производила инфлуентна машина, Франклин је током олује пуштао папирног „змаја”, при чему је близу краја канапа којим је држао змаја ставио метални кључ. На врху змаја се налазио метални шиљак који је „олакшао” удар грома. Када је гром ударио у змаја, влажан канап је провео наелектрисање до кључа и он се истопио! Одавде је Франклин извео многе закључке везане за електричну природу грома. Једна од идеја је да би се зграде могле заштитити ако би се на њих поставио шиљак преко којег би се наелектрисање одвело у земљу. То је у ствари идеја **громобрана**. (Сам Франклин се, иначе, налазио у згради на сувом и држао суви део канапа).

Како ми данас тумачимо појаву грома? Молекули водене паре, као топлији, пењу се у више слојеве атмосфере. Тамо се кондензују у ситне водене капљице, чинећи облаке. На свом путу, молекули водене паре се сударају са молекулима ваздуха и наелектришу. На тај начин, облаци су наелектрисани.

Овако наелектрисан облак електричном индукцијом наелектрише други облак или високе објекте на Земљи: фабричке димњаке, дрвеће, зграде (слика 3.11). Ваздух се понаша као изолатор, али када је разлика потенцијала велика долази до појаве варнице – електричног пражњења. Напон између два облака или између облака и Земље може да износи и неколико милиона волти, те између њих долази до врло краткотрајног електричног пражњења и ми видимо **муњу** (слика 3.11). Блесак муње прати, са извесним закашњењем **грмљавину**, која настаје услед наглог ширења усијаног ваздуха. (Пошто смо већ говорили о брзини светlostи, разумећемо зашто прво видимо муњу па тек онда чујемо грмљавину.) Целокупна појава електричног пражњења између облака и објекта на Земљи назива се **гром**. Деловање грома често је разорно, јер се велика количина енергије пренесе и ослободи у веома кратком времену.

Радови Франклина потпуно су објаснили законитости атмосферског електричитета, па је на основу тога пронађена и заштита од грома. Франклин је први пронашао **громобран са шиљком**. Овај громобран се састоји из шипке, постављене на највишем делу зграде или објекта који треба заштитити од грома. Горњи крај шипке завршава се оштром шиљком и она је повезана дебелом бакарном жицом или поцинкованом траком, са бакарном плочом, која је дубоко закопана у влажну земљу.





Ако од грома треба заштитити неку већу зграду, на њу се поставља више громобрана, а у новије време се користе **мрежасти громобрани**. Њих чине металне траке постављене на ивице крова, димњака и на друге истурене делове зграда. Мрежасти громобрани такође морају бити у добром споју са земљом.

Када наелектрисани облак наиђе изнад громобрана, он својим електричним пољем, тј. инфлуенцијом раздваја наелектрисања на громобрану, тако да се врх громобрана наелектрише супротно од облака. Захваљујући дејству шиљка врши се разелектрисавање облака. Понекад се овај процес не заврши, те се између шиљка и облака јави електрична варница, тј. гром. Он „удари“ у шиљак, при чему се наелектрисање облака спроведе кроз бакарну жицу у земљу, а да се притом не деси никаква штета.



► Слика 3.11. Електрична йражњења у атмосфери

## ПОСЕБНО УПАМТИТИ



Основни делићи од којих је изграђена супстанција имају једну особину која се назива наелектрисање. Електричне појаве су последица постојања ове особине. Прецизније, постоје две врсте наелектрисања: позитивно и негативно. Истоимена наелектрисања се одбијају, разноимена се привлаче.

У средини атома је његово позитивно наелектрисано језгро. Оно се састоји од позитивних – протона ( $p$ ) и електронеутралних честица – неутрона ( $n$ ). Око језгра се крећу (кажемо да „круже“) негативно наелектрисане честице – елек-трони ( $e$ ). Протони и електрони имају једнака наелектрисања, али супротног знака: протони  $+e$ , а електрони  $-e$ .

Маса електрона је око 1840 пута мања од масе протона. Када су они отргнути од атома, могу се лако покренути дејством неке спољашње сile, рецимо електричног поља.

Јединица за количину наелектрисања је један кулон (C).

Елементарно наелектрисање износи:

$$1 e = 1,6 \cdot 10^{-19} C.$$

При наелектрисавању тела не ствара се наелектрисање; оно се само раздваја и преноси са тела на тело. Укупан број позитивних и негативних елементарних наелектрисања остаје непромењен. Овај закључак је познати закон одржања наелектрисања.

Материјали у којима наелектрисане честице могу слободно да се крећу, називају се проводници, они који не проводе електричитет називају се изолатори.

Сила која делује између наелектрисања сразмерна је количини наелектрисања, а обрнуто сразмерна квадрату растојања између њих:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Кажемо да око наелектрисаног тела постоји електрично поље, којим оно делује на друга наелектрисана тела.

Електричне линије сила су замишљене линије које се поклапају са правцем дејства сила електричног поља на позитивно наелектрисану честицу.

Уколико се у неку тачку електричног поља унесе неко наелектрисање  $q$ , оно има електричну потенцијалну енергију ( $E_p$ ). Та потенцијална енергија обрачуната по количини наелектрисања тог тела представља карактеристику тачке електричног поља и назива се електрични потенцијал:

$$V = \frac{E_p}{q}.$$

Разлика електричних потенцијала између две тачке се назива напон између ових тачака:  $U = V_1 - V_2$ .

Јединица електричног потенцијала и напона је волт (V).

Рад електричног поља сразмеран је електричном напону:  $A = q \cdot U$ .



## ПИТАЊА

1. У 6. разреду смо посматрали лагану куглицу обешену на канап коју привлачи наелектрисано тело. Овај уређај се назива електрично клатно. Међутим, кад клатно додирне наелектрисано тело, између њих долази до одбијања. Објаснити.
2. Позитивно наелектрисана метална кугла додирне исту ненаелектрисану куглу. Каква ће бити електрична својства ових кугли после њихових раздвајања?
3. Да ли се може метална шипка наелектрисати трењем?
4. Због чега електрони имају већу покретљивост од протона?
5. Зашто одвртач за електричарске радове има дршку од пластичне масе?



## ПИТАМ СЕ, ПИТАМ

1. Зашто електричари све радове обављају помоћу гумених рукавица, а понеки пут навуку и гумене чизме?
2. Како то да птица може безбедно да слети на проводник електричне струје, а ми не смејмо да их додирнемо док стојимо на Земљи?

(Одговоре пронађите сами користећи литературу и неки интернет претраживач, напр. Google Search, Wikipedia и сл.)



*Пујин, Франклин и свећи Илија*

Са животом и делом великог српског научника Михајла Пупина упознаћемо се касније. А овде наводимо један одломак из његове аутобиографије.

Михајло Пупин у аутобиографији пише:

*Крајем ше ћодине моја мајка је усјела најоворићи оца да ме пошаље у вишу школу у Панчеву. Тамо сам срео учитеље који су на мене учинили јак утисак, нарочито њихово познавање природних наука које су биле сасвим непознате у Јевропи. Тамо сам први пут чуо за неког Американца који се звао Франклин, а који је помоћу кључа и змаја открио да је муња последица електричног прањења које настаје између два облака, а да је ћрмљавина последица ексилозивног ширења ваздуха најло затрејаној проласком електричног поља. Опис ове појаве био је пропраћен експериментом изведеним помоћу електростијатичке машине која је производила електрични потенцијал тешем трења. Ново сазнање ме је усхићивало; све је то било толико ново и толико једноставно, толико ми се бар тада чинило, а у исто време било је толико очречно свему што сам до тада познавао.*

*Када сам посетио свој дом, искористио сам прву прилику да свом оцу и његовим пријатељима, који су се окупили пред нашом кућом у недељу поједне и разговарали, испричам има сам ново научио. Одједану је сам приметио да су се отпац и његови пријатељи заинтересовали у чуду. Изледало је као да се поједијима штајају: „Какву нам то јерес прича овај дрски деран?“ А онда ме отпац спроје поједа и упита да ли сам заборавио оно што ми је често говорио – да ћрмљавина настаје услед тандркања кола светој Илије када се вози кроз рај и да ли ја мислим да тај Американац Франклин, који се трао змајевима као бесислено дерле, зна више о томе него најмудрији људи у Јевропи.*





Увек сам високо ценио очево мишљење, али овој тушти нисам мио а да се не насмешим са призвуком ироније, што ћа је наљутило. Када сам примио срцу у његовим крујним црним очима, скочио сам и побео. Исте вечери отац је мајци за вечером исрчao о јереси коју је од мене чуо то Јоане, али је његова срца била доспа сјаснула. Мајка је примила да ниђе у Светом Јиску није нашла Јоану за лећенду о светом Илији и да је сасвим моћуће да је тај Американац Франклин у праву, а да је прича о светом Илији Јоанешна. По јаштањима тачно тумачења стварих учења, мој отац је увек био сјреман да прихватаји мајчино мишљење те се тако нас двојица измирио.

М. Пупин: *Са јашњака до научењака*,  
Завод за уџбенике,  
Београд, 1996.



Животно искуство вам говори да увек када стигне рачун „за струју”, он изазива узбуђење међу укућанима. Зашто електрична струја изазива такво узбуђење и шта то у ствари плаћамо? При свом протицању, струја врши рад, према томе, троши се енергија и то је оно што треба платити. Сада ћемо научити не само како се ова енергија троши, већ и како је можемо уштедети.



4.

# ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА



1. Осцилације и таласно кретање

2. Светлосне појаве

3. Електрично поље

**4. Електрична струја**

5. Магнетно поље

6. Елементи атомске и нуклеарне физике

7. Физика и савремени свет

## 4.1. ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА

Преношење наелектрисања са једног тела на друго или премештање наелектрисања у електричном пољу уопште, представља струјање наелектрисаних честица, односно, **електричну струју**. Електрична струја може постојати само ако у средини постоје преносиоци те струје – слободни носиоци наелектрисања.

### УСЛОВИ ЗА НАСТАНАК ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

У поглављу 3.2 описан је једноставан експеримент у коме се два електроскопа наелектрисана једнаким количинама, али различитим врстама наелектрисања спајају проводником, након чега се разелектришу (слика 3.36). У овом случају електрони са негативно наелектрисаног тела прелазе на позитивно, стварајући том приликом краткотрајну струју кроз проводник којим су електроскопи спојени. Позитивни електроскоп се налазио на вишем а негативни на нижем потенцијалу. Да би дошло до усмереног тока наелектрисања кроз неки проводник, неопходно је да се његови крајеви налазе на различитим потенцијалима, као у описаном огледу. Према томе, величина која доводи до тока наелектрисања и појаве електричне струје је потенцијална разлика, тј. **електрични напон**.

Овај процес би могао да се објасни на још један начин. У простору између два наелектрисана електроскопа постоји електрично поље. Када се проводник нађе у том пољу, слободни носиоци наелектрисања, (у овом случају електрони) почињу се кретати под његовим дејством. Подсетимо се још да је електрично поље усмерено од тачке вишег потенцијала ка тачки нижег потенцијала. Да би нам било једноставније, тачку вишег потенцијала означавамо са „+”, а тачку нижег потенцијала са „-”, што коначно одговара и наелектрисањима те две тачке. Те две тачке могу бити полови једне батерије или две тачке које се у било каквом електричном пољу налазе на различитим електричним потенцијалима.

**Усмерено кретање наелектрисања у електричном пољу је електрична струја.**

**Електрична струја се одржава све док постоји разлика електричних потенцијала, односно, електрични напон.**

**Смер електричне струје је увек од места вишег ка месту нижег потенцијала.**

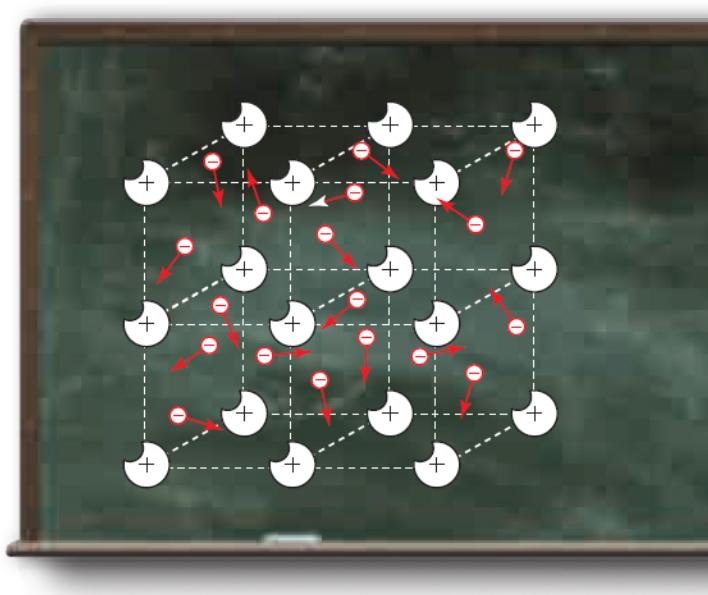
Ово је међународна конвенција. Види се да тај договор прати кретање позитивно наелектрисаних честица.



Све материјалне средине могу бити добри проводници електричне струје, ако имају довољан број слободних носилаца наелектрисања. А који су заправо ти слободни носиоци наелектрисања?

Одговор зависи од средине, односно, супстанције у којој се струјни ток одвија. Сигурно нису исти код метала, гасова или код течности. Чврсте супстанције могу бити веома лоши проводници – изолатори (пластика, гума, суво дрво...), али и изузетно добри (метали или графит).

**Метали** имају кристалну грађу. Атоми су распоређени у правилне просторне решетке (слика 4.1). По један или више електрона ослободи се од сваког атoma и слободно лута решетком на све стране.



► Слика 4.1. Шематички приказ траје мешавина

Ако се метал приказан на слици 4.1 доведе у електрично поље, сваки електрон ће добити компоненту убрзања дуж правца поља.

**Носиоци електричне струје код метала  
су електрони.**

Као што смо навели два су услова за појаву електричне струје у некој средини: постојање слободних носилаца наелектрисања у тој средини и постојање разлике потенцијала између тачака те средине. Прво ћemo проучити слободне носиоце наелектрисања у различитим супстанцијама, а потом узрочницима и последицама постојања разлике електричних потенцијала.

1. Осцилације и таласно кретање

2. Светлосне појаве

3. Електрично поље

**4. Електрична струја**

5. Магнетно поље

6. Елементи атомске и нуклеарне физике

7. Физика и савремени свет

## 4.2. ЈАЧИНА ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

Дефиниција електричне струје, као природне појаве усмереног кретања наелектрисања кроз проводник, ништа нам не говори о количини пренетог електрицитета, а још мање о времену за које се тај процес извршио. Зато је уведена скаларна физичка величина – **јачина електричне струје ( $I$ )**. Она је једнака количнику пренесене количине електрицитета и времена за које је то учињено:

**Јачина електричне струје представља количину електрицитета која се у јединици времена пренесе кроз попречни пресек проводника.**

Ако се јачина електричне струје не мења током времена, онда важи:

$$I = \frac{q}{t}$$

Уколико већа количина електрицитета прође кроз проводник за једну секунду – утолико је већа јачина те електричне струје.

Јачина електричне струје је основна (једна од седам!) физичка величина. Зато је и њена јединица: **ампер (A)** – основна јединица Међународног система јединица.

Јасно је да ће кроз попречни пресек проводника протећи већа количина електрицитета, што је електрична струја јача и што је дуже време протицања те струје, тј.

$$q = I \cdot t$$

Из ове релације се може изразити изведена јединица количине електрицитета:

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ A s.}$$

### ДЕЛОВАЊЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

Из свакодневног живота је добро познато да електрична струја има различита дејства.

Протичући кроз грејач пегле или бојлера – електрична струја испољава **топлотно дејство**. Ту се електрична енергија претвара у топлоту. Различите електричне светиљке осветљавају човеков простор. У овом примеру **светлосног дејства** електрична енергија се претвара у светлосну. Када је веома топло, укључују се вентилатори. Веш-машине унутар бубња мульјају и цеде рубље ротацијом бубња помоћу електромотора. Овде се испољава **механичко дејство** електричне струје, а електрична енергија се претвара у механичку.

Поред овога, електрична струја има **магнетно дејство**, нпр. код електромагнета. Она испољава и **хемијско дејство**. Типичан пример овога је код електролизе воде или неког другог раствора или растопа.

**При свим овим дејствима један вид енергије (електрична) претвара се у неки други. И за ове процесе важи принцип одржавања енергије.**

Треба нагласити да ови процеси нису једносмерни. Они се могу одвијати и у супротном смеру. Тако се у термоелектранама – топлотна (прегрејана пара) претвара у механичку (ротација турбине), а ова (у генераторима) у електричну енергију.



## 4.3. ИЗВОРИ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

Ако се два различито наелектрисана тела споје металним проводником, доћи ће до успостављања електричне струје кроз проводник. Наелектрисања (електрони, у овом случају) прелазе са једног тела на друго само ако је постојала разлика електричних потенцијала између тела. Преласком наелектрисања на друго тело, ова разлика потенцијала се смањује и врло брзо се потенцијали тела изједначе. Тада престаје противцање електричне струје.

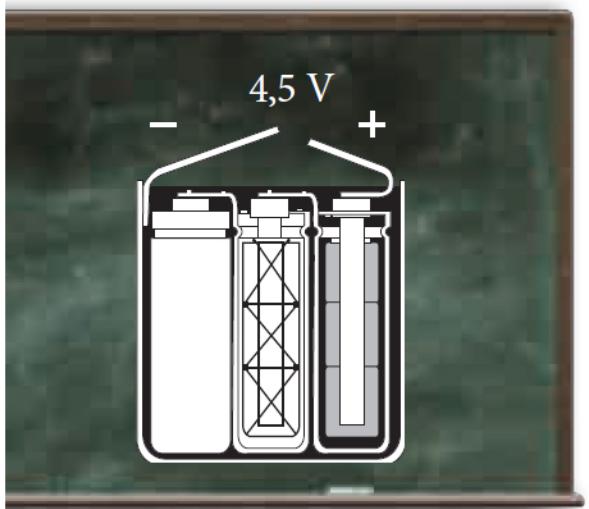
За постојање сталне електричне струје у проводнику потребно је да се на његовим kraјевима успостави и непрекидно одржава разлика потенцијала, односно да у њему стално постоји електрично поље које проузрокује кретање слободних носилаца наелектрисања. Уређаји помоћу којих се то постиже су **извори електричне струје** ( неки од њих су приказани на слици 4.2).

У електричним изворима настаје раздвајање позитивних и негативних наелектрисања и усмеравање њиховог кретања. Раздвојене наелектрисане честице долазе на одређене делове извора који се називају **полови извора**. Већ смо рекли да се полови извора означавају са „плус” и „минус” да би се нагласило који је на вишем електричном потенцијалу, тј. у којем смеру делује електрично поље унутар проводника. Постоје различити процеси чији је резултат раздвајање и уређено кретање слободних наелектрисаних честица у електричним изворима струје, нпр. механички рад, хемијска реакција и др. У свим тим процесима долази до претварања неког облика енергије (механичка, хемијска, унутрашња, светлосна или нека друга) у електричну енергију.

Проводник који спаја полove електричног извора чини **спољашње електрично коло**. Оно може бити сложено, јер може да садржи различите „потребаче” (нпр. сијалица, мерни инструмент, грејач...).

Електрични извор са процесом раздвајања наелектрисања чини **унутрашње електрично коло**. Заједно са спољашњим, оно чини **затворен струјни круг** или, једноставно – **електрично коло**.

Уколико у електричном колу електрична струја протиче стално у истом смеру, онда се ради о **једносмерној електричној струји**. Знамо да електрична струја има смер од места вишег ка месту нижег електричног потенцијала. Исто тако знамо и да се код извора извод који је на вишем потенцијалу обележава са (+) и назива „позитиван”, а онај на нижем са (–) и назива „негативан”, као на слици 4.3.



► Слика 4.2. Хемијски извори једносмерне струје – акумулатор и батерија

# 8 ФИЗИКА

1. Осцилације и таласно кретање

2. Светлосне појаве

3. Електрично поље

**4. Електрична струја**

5. Магнетно поље

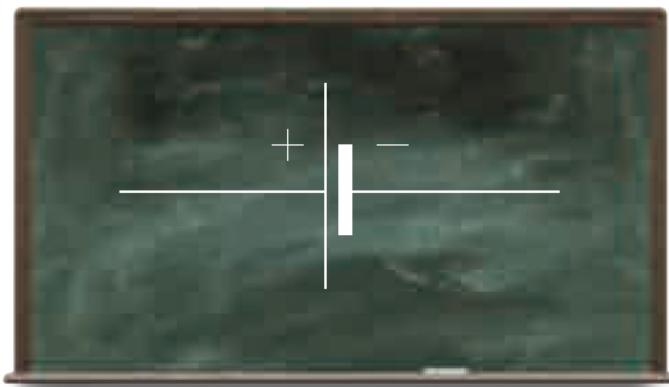
6. Елементи атомске и нуклеарне физике

7. Физика и савремени свет

Извори једносмерне електричне струје су батерије и акумулатори. Ово су хемијски извори јер се у њима раздавање наелектрисања врши путем електролитичке дисоцијације. Имају два пола: позитивни (+) и негативни (-). Шематски се обележавају ознаком као на слици 4.3. У пракси се поларитет извода (+ и -) не означава. Упамтите га!

Између полова ових извора је обично напон од 1,5 V (код батерија) или 12 V (код акумулатора). Два или више извора могу да се повежу серијски (+ за - другог, његов + за - трећег, ...). Тако се добијају електрични извори већег напона, нпр. батерија од 4,5 V или акумулатор од 12 V.

Електрични напон на крајевима извора (између његових крајњих



► Слика 4.3. Ознака за извор једносмерне струје

Италијански лекар Галвани (Luigi Galvani, 1737-1789) вршио је огледе сецирања жаба и приметио је да када хируршким ножем додирне жабу на металној посуди, она се грчи иако на столу на којем је радио није било електричних извора. Он је то приписао тзв. „животињском електрицитету“. Његове огледе је поновио и анализирао Волта (Alessandro Volta, 1745-1827) који је схватио да је суштина у контакту два различита метала између којих се налази раствор електролита. Он је начинио први извор, батерију, слажући комаде два различита метала. Ове своје резултате је објавио 1800. године. Јединица за потенцијал је добила назив њему у част.

полова) назива се **електромоторна сила (ЕМС)** и обележава се са  $\mathcal{E}$ .

Ако се смер струје стално мења, говоримо о **наизменичној струји**. Електрична мрежа је извор напајања потрошача наизменичном струјом. Струја из електричне мреже сваке секунде 50 пута промени свој смер. Каже се да осцилује фреквенцијом од 50 Hz.





## 4.4. МЕРЕЊЕ ЈАЧИНЕ И НАПОНА ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

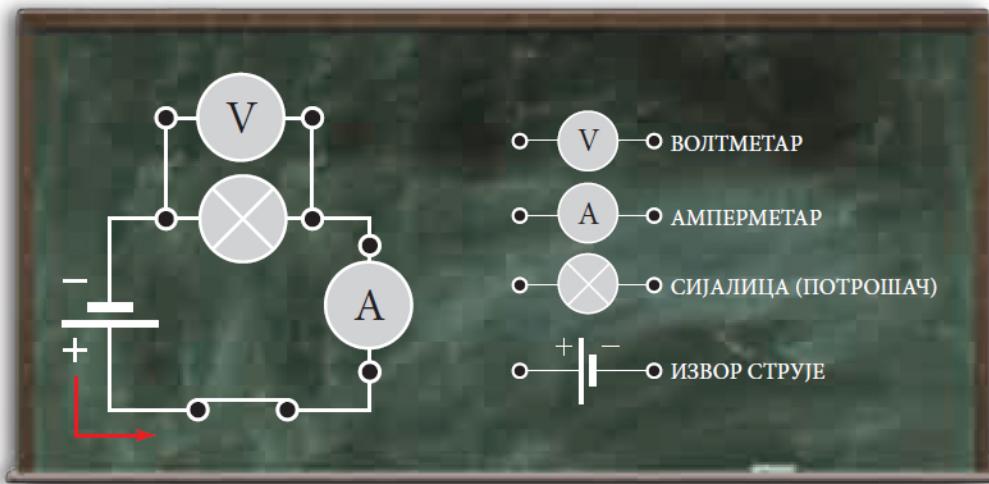
Јачина електричне струје мери се **амперметром**, а електрични напон – **волнтметром** (слика 4.4).

Принцип рада ових мерних инструмената се заснива на претварању електричне у механичку енергију померања казаљке на скали.

Што је већа јачина електричне струје – скретање казаљке амперметра ће бити веће. Слично је код волтметра, само што овде величину отклона казаљке диктира величина електричног напона.



► Слика 4.4. Изглед најједноставније амперметра и волтметра



► Слика 4.5. Шема електричног кола са јављеној прикљученим волтметром и амперметром

Кроз амперметар (A) у струјном колу треба да пролази иста струја као и кроз потрошач. За овакав распоред кажемо да се амперметар увек везује **редно** (или **серијски**) са потрошачем. Волтметар (V) мери разлику потенцијала на крајевима потрошача. Каже се да се волтметар увек везује **паралелно** са потрошачем (слика 4.5).

Важно је да се амперметар не сме никад прикључити непосредно или директно на извор електричне струје, тј. без потрошача. Амперметар би, наиме, у том случају моћао преорећи или се тешко оштетити. Исто би се десило са волтметром ако би се у струјно коло везао серијски са потрошачем!

Сада се срећемо са цртањем **шема**. Наиме, сувише је сложено да се цртају сви саставни делови кола онако како они заиста изгледају. Зато уводимо ознаке за прекидаче, инструменте и сијалице или друге кориснике (потрошаче). Поред тога, електрично коло се црта најчешће у облику правоугаоника због бољег искоришћења простора.

## 4.5. ЕЛЕКТРИЧНА ОТПОРНОСТ ПРОВОДНИКА

Знамо да електрична струја у металима представља усмерено кретање слободних електрона. Крећући се под утицајем електричног поља, електрони се узајамно сударају, а сударају се и са јонима кристалне решетке метала. Ово узајамно деловање може се упоредити са неком силом отпора средине која успорава кретање самих електрона. Услед тог деловања смањује се брзина усмереног кретања електрона, а то значи и јачина електричне струје у проводнику. Физичка величина која показује колики отпор нека средина пружа електричној струји је **електрична отпорност**.

**Електрична отпорност је физичка величина која представља меру отпора усмереном кретању наелектрисаних честица кроз проводник.**

Од два проводника, већу отпорност има проводник кроз који протиче слабија струја при истим условима (једнаке димензије проводника и једнак прикључени електрични напон на његовим крајевима).

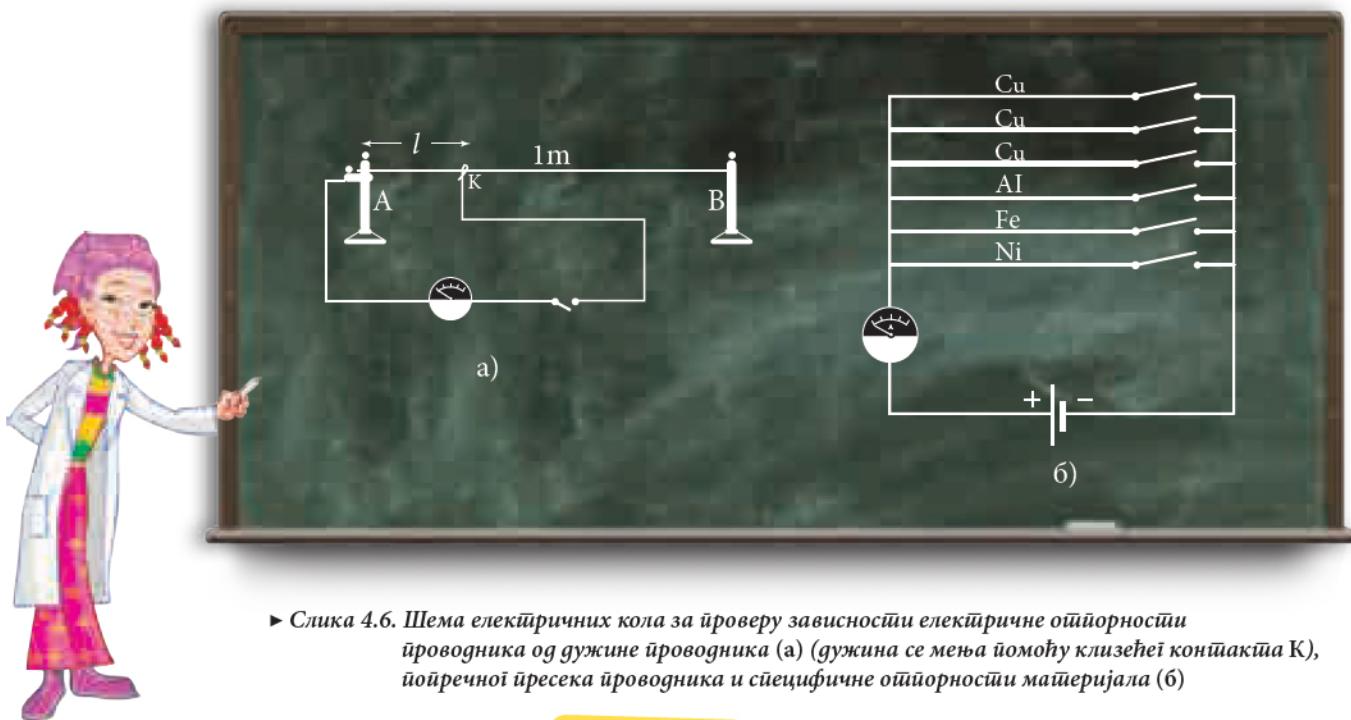
На основу једноставног физичког резоновања може се закључити шта све утиче на величину електричне отпорности једног проводника.

Кад је дужина проводника већа (слика 4.6a), на свом продуженом путу наелектрисања се поново сударају – наилазе на „додатну“ отпорност. Што је проводник дужи, већа му је електрична отпорност:

$$R \sim l.$$

Кад је попречни пресек проводника већи (слика 4.6б), наелектрисања могу лакше да се усмерено крећу избегавајући сударе. При томе, уколико је попречни пресек проводника већи, утолико је електрична отпорност мања:

$$R \sim \frac{1}{S}.$$



► Слика 4.6. Шема електричних кола за проверу зависности електричне отпорности проводника од дужине проводника (а) (дужина се мења помоћу клизећег конака К), попречног пресека проводника и специфичне отпорности материјала (б)



Различити материјали (метали) пружају различиту отпорност противцању електричне струје. Нпр. алуминијумски проводници имају већу електричну отпорност од бакарних, али мању од гвоздених. То се исказује специфичном електричном отпорношћу ( $\rho$  – грчки: ρ):

$$R \sim \rho.$$

**Специфична отпорност** неке супстанције представља електричну отпорност проводника дужине 1 m и површине попречног пресека 1 m<sup>2</sup>.

Ако сва претходна појединачна запажања „удружимо” у један израз, закључујујемо:

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

**Електрична отпорност проводника зависи од врсте супстанције (материјала), сразмерна је његовој дужини, а обрнуто пропорционална површини попречног пресека тог проводника.**

Ова физичка анализа може се веома лако експериментално проверити помоћу апаратуре са шеме дате на слици 4.66.

Сада још треба да уведемо јединицу за отпорност. Јединица за електричну отпорност је **ом** ( $\Omega$ ), по научнику са чијим радом ћемо се упознати мало касније. Ом је изведена јединица, а како се дефинише видећемо, такође, мало касније.

Но, да не бисмо чекали до тада, одмах ћемо увести јединицу специфичне отпорности. То је **ом-метар** ( $\Omega\text{m}$ ). У следећој табели су дате специфичне отпорности неких супстанција на 20 °C.

Врста материјала	Специфична електрична отпорност ( $\Omega\text{m}$ )
Сребро	$1,6 \times 10^{-8}$
Бакар	$1,7 \times 10^{-8}$
Алуминијум	$2,8 \times 10^{-8}$
Волфрам	$5,5 \times 10^{-8}$
Гвожђе	$1,0 \times 10^{-7}$
Никелин	$4,2 \times 10^{-7}$
Константан	$5,0 \times 10^{-7}$
Цекас	$11 \times 10^{-7}$

Физичари су се опет срели са проблемом да физичких величина има више него њено што има слова у абецеди и грчком алфабету. Зато је ознака за специфичну отпорност иста као и ознака за густину, али не би смело да дође до забуне.



## ПРИМЕР

Колика је електрична отпорност бакарне жице, полупречника 2 mm и дужине 2 km?

Подаци:

Решење:

$$\frac{l = 2 \text{ km} = 2000 \text{ m}}{r = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$S = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 = 12,56 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m} \cdot \frac{2000 \text{ m}}{12,56 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 2,7 \Omega$$

$$R = ?$$



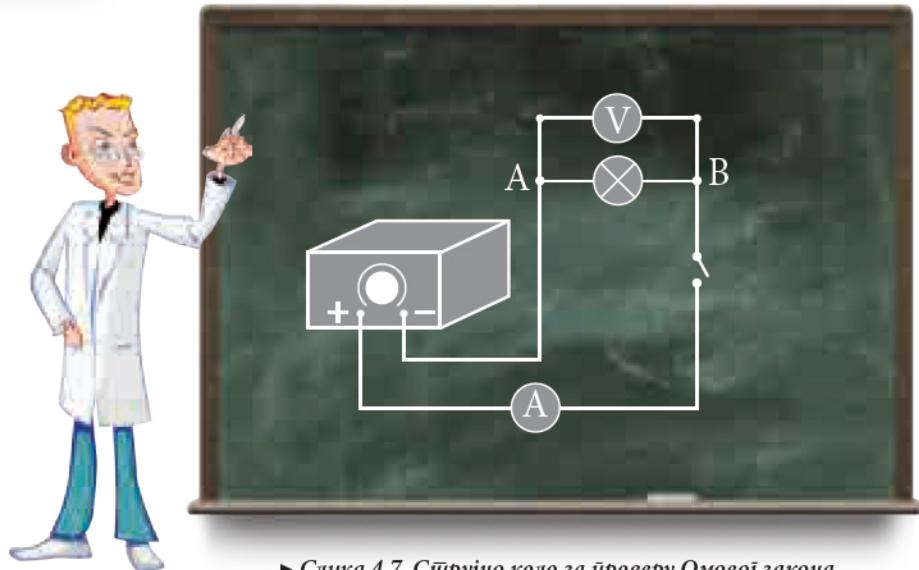
## ПРОВОДНИЦИ И ИЗОЛАТОРИ

У трећој глави смо увела поделу материјала према електричним особинама на **проводнике** у којим има носилаца на електрисања слободних да се крећу и **изолаторе** у којима таквих носилаца има мало или их практично нема. Ако електричну отпорност схватимо као отпор провођењу струје, онда можемо изолаторе у складу са горе реченим посматрати као материјале са врло великим (скоро бесконачном) специфичном отпорношћу и овај приступ се често примењује у пракси.

Важно је уочити да чак и извор електричне струје има отпорност која се мора узети у обзир при прорачунима. Она се онда назива **унутрашња отпорност извора**.

## 4.6. ОМОВ ЗАКОН ЗА ДЕО СТРУЈНОГ КОЛА

Немачки физичар Георг Ом (Georg Simon Ohm, 1787–1854) испитивао је зависност јачине електричне струје кроз проводник од напона на његовим крајевима. Ова зависност може се лако проверити у колу електричне струје шематски приказаном на слици 4.7.



► Слика 4.7. Струјно коло за ћроверу Омовој закона

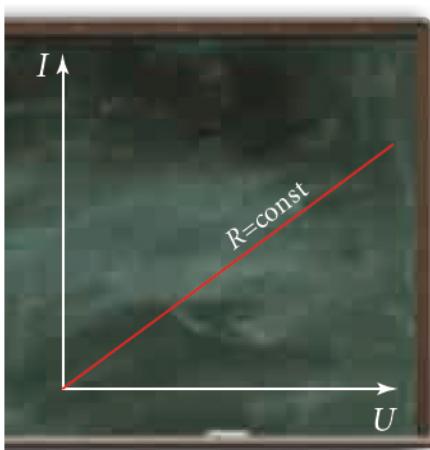
На извор променљивог електричног напона прикључи се потрошач, нека је то у нашем огледу сијалица. При свакој промени напона измери се јачина електричне струје у струјном колу и вредности унесу у табелу.

Напон између тачака А и В мењамо на пример од 0 до 12 V. Уочава се да двоструком, троструком и сваком даљем вишем напону одговара двострука, трострука и даља вишеструка јачина електричне струје.

То се може приказати графички (слика 4.8). На апсцису се наносе вредности електричног напона, а на ординату јачине електричне струје (погледати лабораторијске вежбе). На основу мерења и његовог графичког приказа следи да су јачина струје и напон управо пропорционалне величине. То значи да је њихов однос увек исти, тј.

$$\frac{U}{I} = \text{const.}$$

Константан однос између електричног напона на крајевима једног проводника и јачине струје која кроз њега протиче, управо је величина о којој смо већ говорили, то јест **електрична отпорност проводника  $R$** .



► Слика 4.8. Графички ћриказ резултата мерења из оледа са слике 4.7



Значи,  $R = \frac{U}{I}$ . Овако написан израз нам омогућује да дефинишемо јединицу електричне отпорности – ом ( $\Omega$ ):

$$R = \frac{U}{I} \Rightarrow 1\Omega = \frac{1V}{1A} = 1 \frac{V}{A}.$$

Горња релација може се написати и у облику

$$I = \frac{U}{R}$$

што представља математички израз **Омовог закона**. Исказан речима, Омов закон гласи:

**Јачина струје у проводнику управо је сразмерна напону на његовим крајевима, а обрнуто сразмерна његовом електричном отпору.**

Из Омовог закона следи још један његов значајан облик:

$$U = RI.$$

## ПРИМЕР

Сијалица је прикључена на електрични напон  $U = 220$  V, а јачина електричне струје кроз њу је  $0,5$  A. Колика је електрична отпорност влакна те сијалице?

Подаци:

$$U = 220 \text{ V}$$

$$\begin{array}{l} I = 0,5 \text{ A} \\ \hline R = ? \end{array}$$

Решење:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ V}}{0,5 \text{ A}} = 440 \Omega.$$



Све ово до сада речено односи се на један потрошач који је део електричног кола, зато се ово и зове **Омов закон за део струјног кола**.

Сваки проводник, као и потрошач, има одређену електричну отпорност. Потрошачи се у електричним шемама приказују као . Правоугаоник замишљамо као електрични отпорник чија је отпорност  $R$  једнака укупној електричној отпорности потрошача и проводника којим је везан у коло. Овај отпорник се са осталим елементима кола повезује идеалним дужима – водовима (то су проводници без електричног отпора).

Сада можемо да анализирамо шта се дешава на неком проводнику у електричном колу, посматрано са тачке гледишта утрошака енергије.

Сада видимо зашто је ефикасна претпоставка да је отпор изолатора бесконачан. Из израза за Омов закон следи да је јачина електричне струје кроз изолатор једнака нули, тј. електрична струја не протиче!

Да ли онда изолатор има слободних носилаца на електррисања?

# 8 ФИЗИКА

1. Осцилације и таласно кретање

2. Светлосне појаве

3. Електрично поље

4. Електрична струја

5. Магнетно поље

6. Елементи атомске и нуклеарне физике

7. Физика и савремени свет

## 4.7. РАД И СНАГА ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

У претходној глави објаснили смо везу између електричног напона и рада ( $A$ ) потребног за преношење наелектрисања  $q$  између две тачке електричног поља, чија је разлика електричних потенцијала  $U$ :

$$A = qU.$$

Како се количина електричног напона изражава преко јачине електричне струје и времена њеног протицања:

$$q = It,$$

то се, заменом овога добија:

$$A = UIt.$$

**Рад електричне струје у неком делу кола једнак је производу електричног напона на крајевима тога дела кола, јачине сталне електричне струје која противиче кроз тај део кола и времена протицања ове струје.**

Ова формула омогућава израчунавање укупног рада који врши електрична струја у датом електричном колу независно од тога у коју се врсту енергије претвара електрична енергија.

Јединица електричног рада је цул (J), која је јединица и механичког рада и енергије.

$$1\text{J} = 1\text{V} \cdot 1\text{A} \cdot 1\text{s} = 1\text{VAs}.$$

### ПРИМЕР

Електромотор је прикључен на електрични извор, напона 220 V, при чему кроз њега пролази струја, јачине 2 A. Колики рад изврши овај мотор за пола часа?



Подаци:

$$U = 220\text{ V}$$

$$I = 2\text{ A}$$

$$t = 30\text{ min} = 1800\text{ s}$$

---

$$A = ?$$

Решење:

$$A = UIt = 220\text{ V} \cdot 2\text{ A} \cdot 1800\text{ s} = 792\,000\text{ J} = 0,792\text{ MJ}$$

Електрична струја веома видљиво „показује своју снагу”: изазива силу која покреће возове, трамваје, машине за прање рубља, као и много других електричних уређаја. Електрична снага се испољава и у светlostи сијалице, загревању решоа, раду телевизора, итд.



Познато је да је снага једнака раду у јединици времена. Дакле, снага електричне струје неког електричног уређаја је:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t},$$

$$P = U \cdot I.$$

**Снага електричне струје једнака је производу електричног напона и јачине те електричне струје.**

Јединица снаге је ват (W). Из обрасца за снагу електричне струје следи да је:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 1 \text{ VA}.$$

У пракси се најчешће користе и следеће веће јединице за снагу: киловат (kW) и мегават (MW), али и мање, на пример миливат (mW).

У следећој табели су дате просечне вредности за снагу неких електричних уређаја:

УРЕЂАЈ	СНАГА (W)
Сијалице у стану	25–200
Телевизор	200
Пегла	1 000
Бојлер	2 500
Трамвај	$1 \cdot 10^5$
Електрична локомотива	$3 \cdot 10^6$
Транзисторски пријемник	0,5

Када је позната снага електричних потрошача, може се израчунати укупан рад електричне струје тог уређаја за време  $t$ :

$$A = P \cdot t.$$

## ПРИМЕР

Колика је снага електромотора стоног вентилатора кроз који протиче електрична струја јачине 100 mA, када се он прикључи на стални извор напона 220 V?

Подаци:

$$\begin{aligned} U &= 220 \text{ V} \\ I &= 100 \text{ mA} = 0,1 \text{ A} \\ \hline P &=? \end{aligned}$$

Решење:

$$\begin{aligned} P &= UI = 220 \text{ V} \cdot 0,1 \text{ A} = 22 \text{ VA} \\ P &= 22 \text{ W.} \end{aligned}$$



# 8 ФИЗИКА

1. Осцилације и таласно кретање

2. Светлосне појаве

3. Електрично поље

**4. Електрична струја**

5. Магнетно поље

6. Елементи атомске и нуклеарне физике

7. Физика и савремени свет

## ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА

Електрична струја врши рад у електричном колу током њеног протицања, што значи да она поседује способност вршења рада.

Способност електричне струје да изврши рад назива се електрична енергија.

Јединица електричне енергије је иста као и јединица рада, дакле џул (J). Ова јединица је изведена и представља ват-секунду (Ws):

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws.}$$

Ако се електрична снага  $P$  изрази у киловатима (kW) (што се у домаћинству најчешће чини) а време у часовима (h), онда је најпогодније да се електрични рад и енергија изражава киловат-часовима (kWh). Дакле,

$$\begin{aligned} 1 \text{ kWh} &= 1 \text{ kW} \cdot 1\text{h} = 1\,000 \text{ W} \cdot 3\,600 \text{ s} = \\ &= 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}. \end{aligned}$$

Инструмент за мерење електричне енергије у домаћинству и индустрији назива се **електрично бројило** (слика 4.9). На њему се налази бројчаник за очитавање утрошене електричне енергије.



► Слика 4.9. Старији и новији модел електричног бројила

### ПРИМЕР

Електрична грејалица снаге 1,5 kW укључена је 2 часа. Колику електричну енергију је она утрошила?



Подаци:

$$\begin{array}{l} P = 1,5 \text{ kW} \\ t = 2 \text{ h} \\ \hline A = ? \end{array}$$

Решење:

$$A = Pt = 1,5 \text{ kW} \cdot 2 \text{ h} = 3 \text{ kWh.}$$



## 4.8. ЦУЛ-ЛЕНЦОВ ЗАКОН

Када се електрична струја пропусти кроз проводник са већим отпором, приметиће се да се он загрева. Ако је та струја довољно јака, проводник ће се и усијати, а понекад се може и истопити. Овде се највећим делом врши претварање електричне енергије у топлотну.

На основу Закона одржања енергије та количина топлоте  $Q$ , која се ослободи у проводнику, једнака је раду  $A$  који изврши електрична струја у њему:

$$Q = A.$$

Пошто је  $A = U \cdot I \cdot t$ , то је и

$$Q = U I t.$$

Како је из Омовог закона  $U = I \cdot R$ , то се заменом у претходну формулу добија

$$Q = I R \cdot I t$$

односно,

$$Q = I^2 R t.$$

Количина топлоте ослобођена у проводнику кроз који протиче електрична струја једнака је производу квадрата јачине те струје, електричне отпорности проводника и времену протицања електричне струје.

Ово је исказ Цул-Ленцовог закона.

У 7. разреду смо помињали Џемса Џула због доказа да је топлота вид енергије. Сада видимо да је он ишао и корак даље и проучавао прелазак електричне у топлотну енергију.



Емилијј Христијанович Ленц (1804-1865) руски научник члан Петербуршке академије наука и Универзитета у Санкт Петербургу имао је низ значајних резултата у области електричног и магнетизма. Дошао је потпуно независно од Џула, мање више истовремено до везе јачине струје и ослобођене топлотне енергије и зато се закон назива са оба имена.

### ПРИМЕР

Кроз металну жицу отпора  $20 \Omega$  пролази струја јачине 4 A. Колика се количина топлоте ослободи у жици у току 5 минута?

Подаци:

$$R = 20 \Omega$$

$$I = 4 \text{ A}$$

$$t = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$$

$$Q = ?$$

Решење:

$$Q = I^2 R t = (4\text{A})^2 \cdot 20 \Omega \cdot 300 \text{ s} = 96 000 \text{ J}$$

$$Q = 96 \text{ kJ.}$$



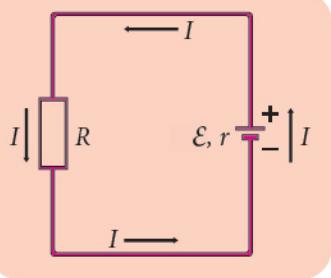
## 4.9. ОМОВ ЗАКОН ЗА ЦЕЛО СТРУЈНО КОЛО

Сада са враћамо Омовом закону. Коло у којем постоје извори, потрошачи, прекидачи и проводници (за које се сматра да имају занемарљив отпор), али нема гранања струје (слика 4.10), назива се **просто коло**. Ако извор у колу има електромоторну силу  $\mathcal{E}$ , а укупна отпорност кола је  $R$ , онда **Омов закон за просто коло** гласи:

$$\mathcal{E} = R I.$$

Када у колу постоји гранање струје, то је тзв. **сложено коло**. У сложеном колу уочавамо два нова елемента у односу на просто коло: постоје **чворови** који су тачке у којима се стичу три или више проводника и **гране** које су делови кола између два чвора.

За проучавање оваквих кола се користе тзв. **Кирхофова правила**. Ми се овде нећемо бавити овим правилима зато што, иако је физика која стоји иза њих једноставна, једначине које из њих следе превазилазе ниво математике основне школе.



► Слика 4.10. Просто електрично коло

### ВЕЗИВАЊЕ ОТПОРНИКА

У општем случају примена Кирхофових правила доводи до проблема решавања система једначина што није тривијалан математички проблем, па ћемо се ми задовољити једноставнијом применом која се односи на **везивање отпорника**.

У сложеним струјним колима, нпр. са више потрошача, могуће је да се више потрошача повежу. Овим повезивањем мења се укупна електрична отпорност струјног кола, а тиме се утиче на јачину струје у колу. Тада можемо да потражимо један једини електрички отпор који има отпорност као цео овај скуп отпорника. Његова отпорност се назива **еквивалентна отпорност**. Њу налазимо преко израза за везивање одговарајућих отпорника.

Да би се пронашло како ово остварити, потребно је пронаћи правила за серијску и паралелну везу отпорника. Дакле, у ова два случаја треба одредити **еквивалентну отпорност**.

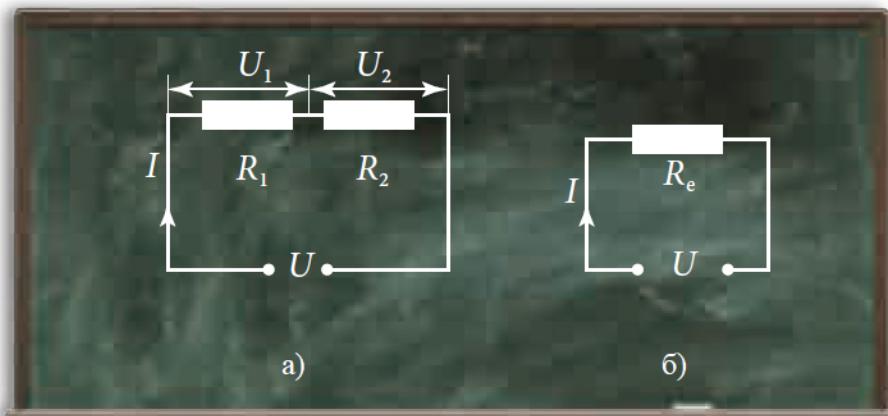


## СЕРИЈСКА ВЕЗА ОТПОРНИКА

Два отпорника  $R_1$  и  $R_2$  везани су редом (један за другим) као на слици 4.11а. Ако се та веза замени једним отпорником (слика 4.11б), колика је његова еквивалентна отпорност?

На основу Омовог закона следи:  $U_1 = R_1 I$ ,  $U_2 = R_2 I$  и  $U = R_e I$ .

Према ономе што знамо о особинама разлике потенцијала  $U = U_1 + U_2$  (слика 4.11а).



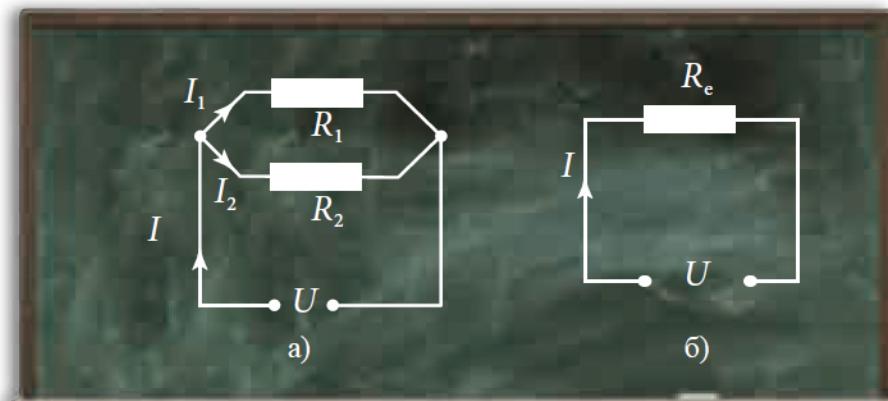
► Слика 4.11. Редно везани отпорници у колу (а) замењени су еквивалентним отпорником (б).

Заменом првих релација у последњу:

$$\begin{aligned} R_e I &= R_1 I + R_2 I \quad /:I \\ \Rightarrow R_e &= R_1 + R_2. \end{aligned}$$

Еквивалентна електрична отпорност редно везаних отпорника једнака је збиру њихових електричних отпорности.

## ПАРАЛЕЛНА ВЕЗА ОТПОРНИКА



► Слика 4.12. Паралелно везани отпорници у колу (а) замењени су еквивалентним отпорником (б).

# 8 ФИЗИКА

1. Осцилације и таласно кретање

2. Светлосне појаве

3. Електрично поље

**4. Електрична струја**

5. Магнетно поље

6. Елементи атомске и нуклеарне физике

7. Физика и савремени свет

Два отпорника  $R_1$  и  $R_2$  везани су паралелно (један испод другог) као на слици 4.12а. Колика је еквивалентна отпорност ( $R_e$ ) којом би се ова веза заменила (слика 4.12б)?

На основу Омовог закона може се написати:

$$U = R_e I, \quad U = R_1 I_1 = R_2 I_2,$$

Без извођења, наведимо коначан резултат:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Реципрочна вредност еквивалентне електричне отпорности паралелне везе отпорника једнака је збире реципрочних вредности поједињих отпорности.

## ПРИМЕР

Електрична отпорност једног отпорника је  $R_1 = 3 \Omega$ , а другог  $R_2 = 6 \Omega$ . Колика је укупна (тачније, еквивалентна) отпорност ових отпорника када се они вежу редно, а колика када се они вежу паралелно?



Подаци:

$$R_1 = 3 \Omega$$

$$R_2 = 6 \Omega$$

---

$$R_e = ?$$

Решење:

Укупни отпор ових проводника везаних редно је:

$$R_e = R_1 + R_2 = 3 \Omega + 6 \Omega = 9 \Omega.$$

За паралелну везу два отпора важи  $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$   
одакле је укупна отпорност:

$$R_e = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3 \Omega \cdot 6 \Omega}{3 \Omega + 6 \Omega} = 2 \Omega$$



## 4.10. ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА У ТЕЧНОСТИМА И ГАСОВИМА

Течности су релативно слаби проводници електричне струје (нпр. чиста дестилована вода је изолатор). Изузетак су метали у течном агрегатном стању и раствори.

Проводљивост воде се повећава додавањем соли, киселина или база. Наиме, у раствору се појаве позитивна и негативна наелектрисања, зато течност постаје проводник електричне струје. Такву течност називамо **електролит**. Атом или молекул који је наелектрисан зато што има вишак или мањак електрона назива се позитиван или негативан јон.

У електролитима се увек налазе позитивни и негативни јони окружени молекулима воде. Такво разdvјање супстанције на јоне зове се **електролитичка дисоцијација**. Позитивни јони се називају **катјони**, а негативни јони – **анјони**.

Ако се у раствору успостави електрично поље, катјони ће се кретати ка месту нижег потенцијала (у смеру поља), а анјони – ка вишем (супротно од смера поља). И ето усмереног кретања наелектрисања. Треба нагласити да овде постоји „двостврука“ електрична струја: анјонска и катјонска (слика 4.13).

**Носиоци електричне струје у електролитима су јони.**

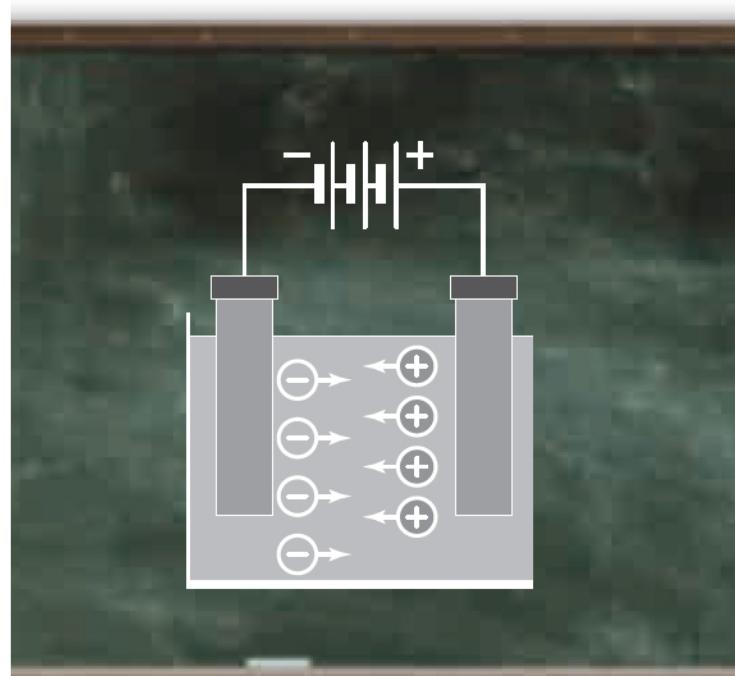
Гасовите супстанције су веома добри изолатори. Међутим, и оне могу да се јонизују – наелектришу, слично као молекули водене паре приликом њиховог кретања кроз ваздушне слојеве пре образовања облака.

При јонизацији атоми и/или молекули гаса остају без једног, два или више електрона. Они постају позитивно наелектрисани – позитивни јони. У гасу се, као последица процеса јонизације, налазе и слободни електрони.

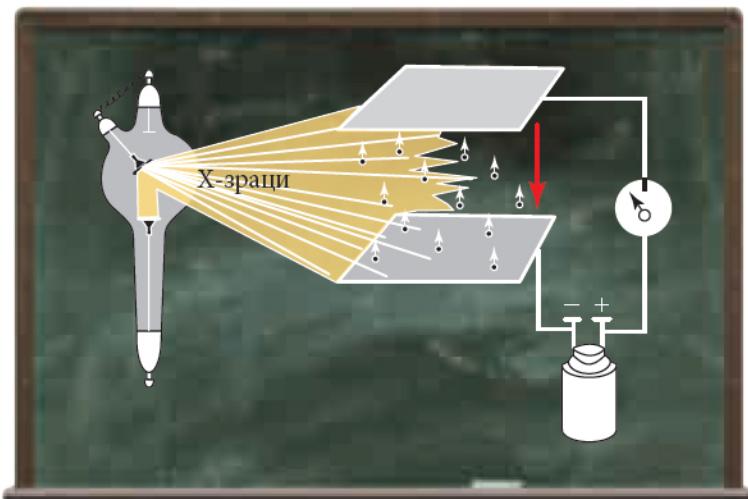
**Носиоци електричне струје у гасу су електрони и јони.**

На слици 4.14, X-зраци јонизују гас између плоча и између њих тада протиче струја. (О овим пророрним и невидљивим зрацима сазнаћете више у средњој школи.)

У јаком електричном пољу може доћи до наглог усмереног кретања ових наелектрисања, које се огледа у електричном пражњењу (електрични лук, муња...).



► Слика 4.13. Када се усвоји стави разлика појенцијала унутар електролита, почиње кретање катјона и анјона



► Слика 4.14. X зраци јонизују гас и између наелектрисаних плоча тече струја

## 4. 11. МЕРЕ ЗАШТИТЕ ОД ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

Већ смо објаснили да електрични напон представља разлику електричних потенцијала. Код већине електричних уређаја се подразумева да се ниво електричног потенцијала посматра (мери) у односу на тло (земљу). Ако је ова разлика велика, каже се да је напон висок. Нормални (нисконапонски или кућни) напони у електричној мрежи у Европи износе 220 V, односно 380 V и она представљају опасност у случају неисправног уређаја или нестручног руковања. Већина удеса данас је, у ствари, последица неисправности инсталација или незнања и недисциплине корисника.

Електрични напони у мрежама далековода су знатно виши – износе неколико хиљада до неколико стотина хиљада волти. Додир са деловима инсталација под таквим напоном је скоро редовно погубан за живи свет. При томе, додир не мора да буде успостављен непосредним контактом, јер варнице могу да прескоче растојање од више десетина центиметара.

При проласку електричне струје велике јачине кроз ткива живих бића ослобађа се велика енергија која изазива опекотине и контракцију виталних мишића кроз које прође. Међутим, опасност је велика и при проласку слабијих и краткотрајних струја у близини срца, јер може да дође до поремећаја па и до потпуног застоја његовог рада.

Људи су данас свесни ових опасности и зато су у близини уређаја са високим напоном предузете мере предострожности да до контаката са високим напоном не дође, а постављена су и упозорења о понашању у близини ових уређаја или објекта (слика 4.15). Према томе, прва и основна мера заштите је: поштовати сва упозорења која постоје!

Сви електрични уређаји који се користе у домаћинству прикључују се у тзв. шуко-утичнице, које имају двоструку заштитну улогу. Као прво, нико од укућана не може директно руком, ни било којим другим делом тела да додирне електричне контакте у које се убацује утикач електричног уређаја са каблом који спаја уређај са струјним извором – у овом случају то је шуко-утичница (слика 4.16). Друга заштитна улога ове утичнице је у томе што она – поред два проводника (код наизменичне струје коју користимо у градској електро-мрежи, то су тзв. фазни и нулти проводници), који су контакти за прикључење уређаја на електрични извор – садржи и тзв. прикључак уземљивачког проводника. Преко њега је сваки уређај „уземљен”, а то обезбеђује заштиту и уређаја и оних који су са тим уређајем у контакту, у случајевима када из неког разлога дође до споја фазног проводника са металним деловима електричног уређаја.

Да би ова заштита функционисала, свако струјно коло у домаћинству мора бити снабдевено (или повезано) са електричним осигурачем, који прекида струјно коло у тренутку настанка „кратког споја” – када се уређају или проводнику који спаја утичницу и уређај, па и у самој утичници, деси да се фазни проводник споји са нултим или уземљеним деловима уређаја. Савремени осигурачи су аутоматски (слика 4.17а) и прекидају струјно коло помоћу електромагнета и контакта који он привуче и прекине струјно коло чим јачина струје пређе неку, за одређени потрошач номиналну вредност.



► Слика 4.15. Упозорење на шрафо-станицама или далеководним ступовима, код електричних трамвајских и железничких постројења



► Слика 4.16. Шуко-утичница



a)



б)

► Слика 4.17. Аутоматски (а) и класичан – патронски осигурач (б)

Осигурачи старије производње су снабдевени патроном са металном нити од врло топљивих материјала (слика 4.17б), који се – у случају настанка кратког споја када јачина струје нагло порасте – истопе и прикину струјно коло. Осигурачи се налазе у улазном делу куће или стана и када „искоче” без електричног напона остаје прекинуто струјно коло у целој кући или стану.

Поред овога, постоји још један степен заштите. Код електричног бројила које мери утрошену електричну енергију домаћинства, постоје још један или три главна осигурача. Њихова улога је да, уколико откаже примарна заштита са осигурачима у стану, они „одраде” ту заштиту. Према прописима, сваки објекат за становање, стан или кућа, мора бити снабдевен и једним главним осигурачем, тзв. фид-склопком, која обезбеђује целокупну електричну инсталацију, у случају кратког споја у било ком делу струјног кола. Ова склопка искључије целокупно напајање (прикључак на дистрибутивну мрежу) целокупне инсталације тог домаћинства.

Без обзира на све ове опсежне мере обезбеђења, сви корисници морају бити веома пажљиви и никако неким металним предметима не смеју додиривати делове електричних уређаја кроз које тече електрична струја, односно који су „под напоном”!

Код већине уређаја у домаћинству, који се једним именом зову термички електрични апарати, електрична енергија се претвара у топлоту у отпорној жици. За издавање више топлоте, потребан је што већи отпор. Како је електрична отпорност проводника обратно сразмерна површини његовог попречног пресека, у овим уређајима жице су малог попречног пресека. С друге стране, отпорност је управо сразмерна дужини проводника, те је отпорна жица веома дугачка. Да би заузела што мањи простор, она се увија у спиралу (слика 4.18). То је проводник са великим специфичном отпорношћу (грејач) који има високу тачку топљења – изнад 1 000 °C.



► Слика 4.18. Ринила електричног шаторећа

# 8 ФИЗИКА

1. Осцилације и таласно кретање

2. Светлосне појаве

3. Електрично поље

**4. Електрична струја**

5. Магнетно поље

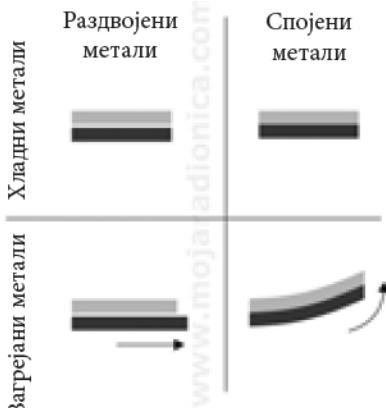
6. Елементи атомске и нуклеарне физике

7. Физика и савремени свет

Да би се људи заштитили од додира врелих површина и директног контакта са спиралним жицама грејача кроз који тече електрична струја, спирални грејачи су затопљени у изолаторски калуп, обично црне боје.

Ради заштите електричних уређаја од преоптерећења – посебно код термичких уређаја, нпр. рингле и рерне код електричног штедњака, грејачи код бојлера или тостера и сл. – обезбеђена је посебним биметалним прекидачем, који, када температура пређе дозвољену вредност, прекидају струјно коло. Биметални прекидач у суштини представља спој две траке од различитих врста метала (слика 4.19). Како се ови метали различито издужују приликом загревања, биметал ће се кривити у страну где се налази трaka метала који се мање издужује. Док је температура биметала (а тиме и грејног уређаја) висока до одређене границе, долазни и одлазни проводник биће у контакту и струјно коло је активно, а када температура пређе ту вредност, биметал се тако деформише да прекине тај контакт и електрична струја не може да протиче кроз коло са грејачем. Када се уређај охлади, струјно коло се поново успоставља и грејачи греју воду или нешто друго за чега су намењени.

Више о употреби биметалног прекидача научићете на часовима Технике и технологије.



► Слика 4.19. Биметалне траке

## ПОСЕБНО УПАМТИТИ



Усмерено кретање наелектрисања у електричном пољу је електрична струја. Електрична струја тече све док постоји разлика електричних потенцијала – напон. По међународном договору, смер електричне струје је увек од места вишег ка месту нижег потенцијала.

Носиоци електричне струје у металима су електрони, у електролитима су позитивни и негативни јони (катјони и анјони), а у гасовима електрони и позитивни јони.

Јачина електричне струје представља количину електричног струја која се у јединици времена пренесе кроз попречни пресек проводника:

$$I = \frac{q}{t}.$$

Уређаји помоћу којих се на крајевима проводника постиже успостављање и непрекидно одржавање разлике потенцијала су извори електричне струје.



Електрична отпорност је физичка величина која представља меру отпора усмереном кретању наелектрисаних честица кроз проводник:

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Омов закон:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Јачина електричне струје у проводнику управо је сразмерна напону на његовим крајевима, а обрнуто сразмерна његовој електричној отпорности.

Снага (енергија у јединици времена) електричне струје је једнака производу напона на крајевима проводника и електричне струје која кроз њега протиче:

$$P = U \cdot I.$$

Цулов закон:

$$Q = P^2 R t.$$

Количина топлоте ослобођена у проводнику кроз који пролази електрична струја, једнака је производу квадрата јачине те струје, електричне отпорности проводника и времену противцања електричне струје.

### ПИТАЊА

- У електрично коло редно су везана два потрошача, чије су електричне отпорности  $40\ \Omega$  и  $120\ \Omega$ . На ком потрошачу је већи електрични напон и колико пута?
- Када ће кроз два паралелно везана отпорника теки електричне струје једнаких јачина?
- Који су мерни инструменти потребни да би се одредио рад електричне струје?
- Колики је отпор редне везе, а колики паралелне везе два отпорника једнаких отпора?



### ПИТАМ СЕ, ПИТАМ

- У електрично коло редно су везане три жице истог попречног пресека и дужине – бакарна, челична и сребрна. Која од ових жица ће се највише загрејати?
- Две жице, гвоздена и бакарна, истог попречног пресека и дужине, укључене су паралелно у струјно коло. Која ће се жица више загрејати?
- Како се мења отпор проводника, ако се:
  - дужина проводника смањи четири пута,
  - дужина проводника повећа три пута,
  - површина попречног пресека повећа пет пута?

(Одговоре пронађите сами користећи литературу и неки интернет претраживач, нпр. Google Search, Wikipedia и сл.)

Данас, у доба конфекције људи ретко иду код кројача. Међутим, ако се распитате код старијих, изненадићете се да је сваки озбиљнији кројач морао имати магнет како би прикупљао чиоде које је користио током кројења, пробе и шивења. С друге стране, из историје сте учили о великом поморским путовањима у којима су Европљани откривали (за њих) нове светове. Оваква путовања нису била могућа без проналaska једне једноставне справе - компаса. Какве везе имају компас и кројачки магнет? Веома велике!

# 5. МАГНЕТНО ПОЛЬЕ



## 5.1. МАГНЕТНО ПОЉЕ СТАЛНИХ МАГНЕТА И МАГНЕТНО ПОЉЕ ЗЕМЉЕ

Одавно су људи уочили да гвоздена руда магнетит ( $Fe_2O_3$ ) привлачи гвожђе. Магнетит је природни магнет, међутим у свакодневном животу се много чешће наилази на вештачке магнете. Они се израђују од челика са додатком кобалта и никла, који се накнадним поступком намагнетишу. Ови магнети израђују се обично у облику итле, шипке и потковице. Дејство ових магнета се не мења током времена, зато се називају **стални магнети**.

Када се магнет прinese опиљцима гвожђа или ситним гвозденим ексерима, он ће их привући. Другим речима, у простору око магнета на гвоздене предмете делује одређена сила. Зато кажемо да око магнета постоји **магнетно поље**. (Касније ћемо ову дефиницију проширити.) Опиљци ће се нахватати само на крајеве магнета јер је тамо поље најјаче, док их на средини неће бити. Места где је поље најјаче (у овом случају крајеви магнета) јесу његови **полови**, а експерименти показују да их има две врсте – северни (N) и јужни (S). Експерименти указују на још једну битну чињеницу:

**Истоимени полови магнета се одбијају, а разноимени се привлаче.  
Оба магнетна пола подједнако привлаче гвожђе.**

Сада прошири дефиницију: око магнета постоји **магнетно поље** зато што се у простору око магнета запажа дејство на друге магнете и магнетне материјале.

Ако се у магнетно поље постави комад меког гвожђа, он се понаша као магнет: привлачи опиљке, гвоздене ексерчиће и др. Чим се стални магнет уклони, меко гвожђе губи магнетне особине, па више не привлачи опиљке. Дакле, меко гвожђе може бити магнет само док се налази у магнетном пољу. (Оно није стални магнет.) Супротно меком гвожђу – челик, једном стављен у магнетно поље, остаје трајно намагнетисан. Појава да гвожђе у магнетном пољу делује као магнет или, како се често каже, да се гвожђе **намагнетише**, назива се **магнетна инфлуенција**.

Лака намагнетисана челична игла која може да се обрће око вертикалне осе главни је део компаса – инструмента који служи за одређивање страна света (слика 5.1). Једна страна магнетне игре (обично обојена црвеном бојом) оријентише се према северу, а друга (обично плава) према југу. Држећи на длану компас, одређује се правац север–југ. Компас треба да се налази у хоризонталној равни. Окретањем компаса поклапа се ознака за север N црвеним врхом игре, а онда се помоћу скале на којој су означени правци исток E, запад W и југ S одређују остали географски правци.

Игла компаса заузима одређен правац у магнетном пољу Земље, што значи да се Земља понаша као велики магнет.



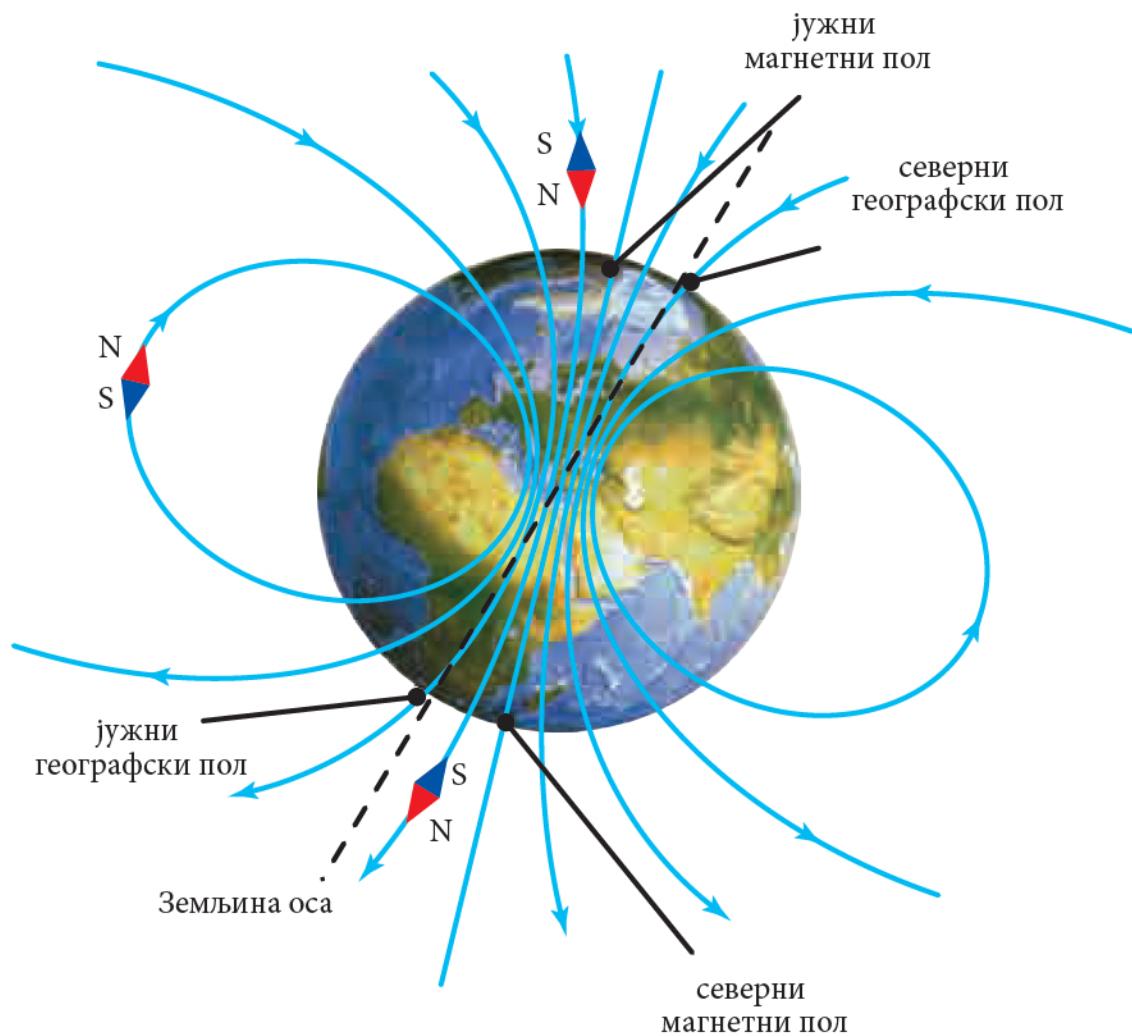
► Слика 5.1. Компас или бусола



Оса Земљиног магнета, која пролази кроз магнетне полove, није паралелна са осом ротације Земље, већ са њом заклапа угао од приближно  $17^\circ$ . Магнетни и географски полови се не поклапају, па игла компаса не показује правац географског меридијана (слика 5.2). Угао између географског меридијана и игле компаса назива се углом деклинације. Током времена овај угао се нешто мало мења, о чему се мора водити рачуна у ваздушном и поморском саобраћају.



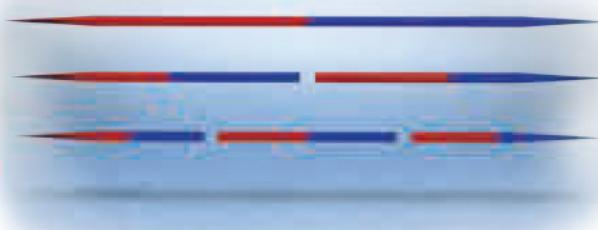
Иако је човечанство дugo познавало магнет, знања о њему су била малобројна и несретена. Дворски лекар енглеских владара Виљем Гилберт (William Gilbert, 1540-1603) годинама је експериментисао и проверавао различите податке не само о магнетизму већ и о електрицитetu и све то скакујо и објавио у књизи „De Magnete“ - „О магнету“ која се сматра првом озбиљном научном књигом у физици и у којој су постављени темељи терминологије коју данас користимо.



► Слика 5.2. Распоред јолова и линија Земљиног магнетног поља

## КАРАКТЕРИСТИКЕ МАГНЕТНОГ ПОЉА

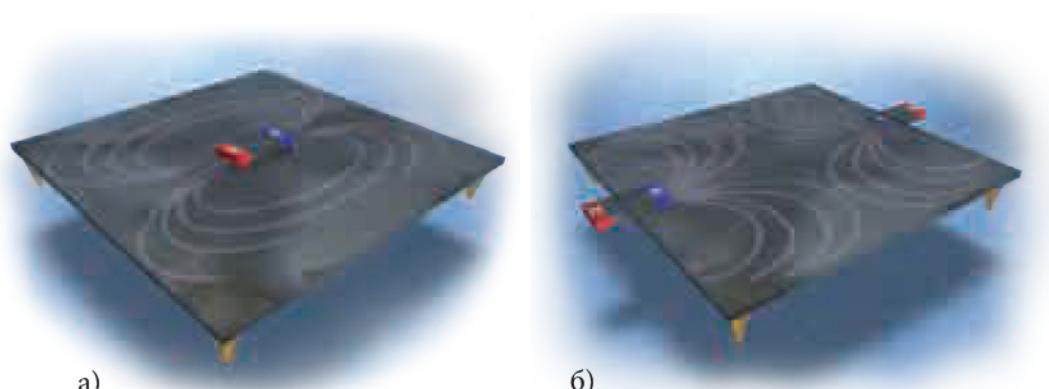
Када се игла за плетење намагнетише, она такође има полове на својим крајевима (слика 5.3). Средина игле не привлачи гвожђе. Ако се ова игла пресече, онда се на овим пресеченим крајевима формирају два супротна магнетна пола, док средине ових делова такође не привлаче. Ако се настави даља деоба ових делова, утврдиће се да се на крајевима добијених делова увек формирају нови магнетни полови. Продужи ли се у мислима ово пресецање, доћи ће се до најситнијих делова – атома, што значи да атом има особине магнета, и његове особине одређују понашање целог магнета. Зашто је атом магнетичан, сазнаћемо касније.



► Слика 5.3. Када намајне пишану илу поделимо на више делова, сваки део онећи има и северни и јужни љол!

За успешно изведену демонстрацију магнетних линија силе неопходно је да се магнети придржавају испод стаклене плоче.

Магнетно поље се најбоље може испитати ако се испод стаклене плоче постави магнет, а на горњу страну плоче равномерно поспу опиљци од гвожђа (слика 5.4). Слабим ударцима у плочу опиљци се уреде у линије, које се називају **магнетне линије сила**, слично електричним линијама сила. Опиљци се највише нагомилавају на местима где су полови, јер је ту поље најјаче, па су ту најгушће магнетне линије силе. Ако се испод плоче налазе два различита пола магнета, онда магнетне линије сила иду од једног пола ка другом (као на слици). Код два истоимена магнетна пола, линије сила имају облик као да се одбијају.



► Слика 5.4. Демонстрација магнетних линија сила



Магнетно поље се карактерише **магнетном индукцијом** која је мера дејства поља на магнете и магнетне материјале. То је величина одређена својим интензитетом, правцем и смером. Обележава се са  $\vec{B}$ . Када говоримо о магнетним линијама силе у ствари мислимо на линије које прате правац и смер магнетне индукције. Густина линија силе указује на јачину магнетне индукције. Да прецизирајмо: на местима где је интензитет вектора индукције већи, линије поља су гушће и обрнуто, густина ових линија је мања на местима у пољу где је вредност магнетне индукције мања. Јединица за магнетну индукцију је **тесла** (T). Назив је добила у част Николе Тесле, заслужног за развој науке о електромагнетизму и њену примену.

До сада нисмо говорили о смеру магнетне индукције. По договору, смер је од северног пола магнета ка јужном. Другим речима, линије силе полазе („извирују“) из северног пола, а улазе („увирију“) у јужни пол.

#### Бели лук и компас

У списима који су остали од римских филозофа стоји да се магнет може размагнетисати присуством белог лука. Када је компас постао незамениљиво средство за навигацију, крманошима на бродовима је било забрањено да једу бели лук пре него што пођу на смену. Тако је Гилберт одбацио ову празноверицу тако што је много пута поновио огледе и утврдио да бели лук не делује на магнет. Ово је само један пример разлике између „филозофа природњака“ који су преписивали једни од других не проверавајући и правих научника, каквих је било мало до Гилбертовог времена.



## 5.2. МАГНЕТНО ПОЉЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

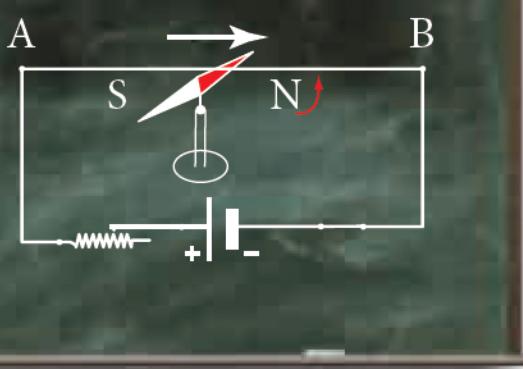
### МАГНЕТНО ПОЉЕ ПРАВОЛИНИЈСКОГ СТРУЈНОГ ПРОВОДНИКА

Посматрајмо струјно коло (слика 5.5) у коме се налази један прав проводник AB, а испод проводника постављена је магнетна игла. Игла ће скренути чим се прекидач затвори, тј. електрична струја почне да тече.

Скретање игле је утолико јаче уколико је ова струја јача. Ако се промени смер електричне струје, мењајући везе на половима батерије, игла ће скренути на супротну страну.

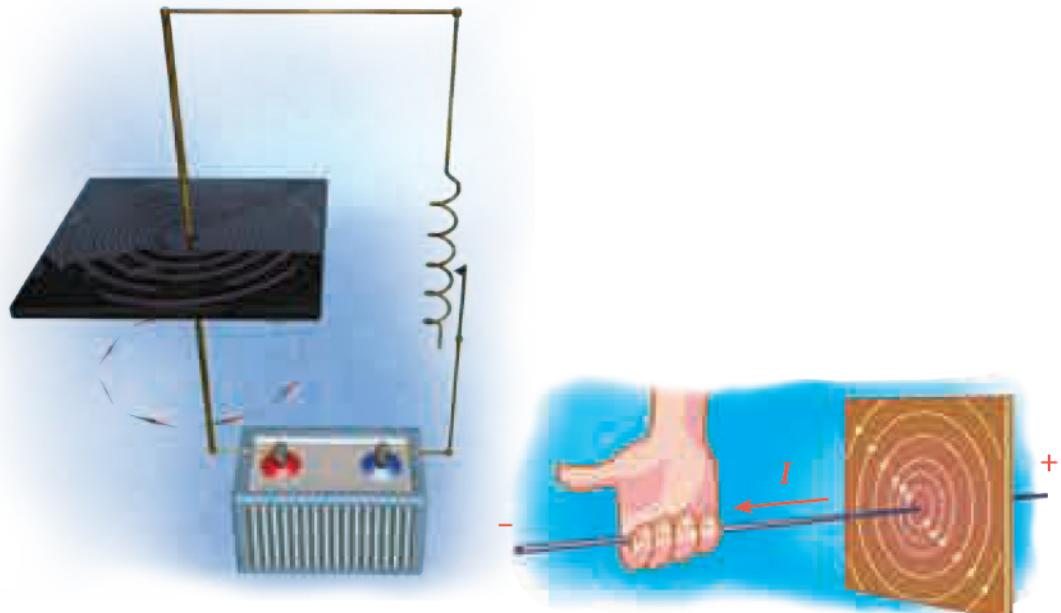
Магнетно поље електричне струје може се проучити ако се кроз средину картона провуче проводник везан у струјно коло (слика 5.6). Картон се поспе опиљцима гвожђа и лагано потреса. Опиљци ће се распоредити у концентричне кругове око струјног проводника, показујући, на тај начин, магнетне линије сила.

Примећујемо да су ове линије затворене, јер нема полова. Зато морамо наћи начин да одредимо смер поља. Смер магнетног поља праволинијског проводника одређује се **правилом десне руке** (слика 5.7). Ако се праволинијски проводник обухвати десном руком тако да палац показује смер струје („од + ка -“), линије силе магнетног поља имају правац и смер савијених прстију шаке десне руке.



► Слика 5.5. Проучавање дејствујајућег поља на магнетну иглу

Често се наводи пример улоге случаја у научном открићу. Много пута је дански научник Ерстед (Hans Christian Oersted, 1777-1851) држао магнетну иглу изнад жице кроз коју противично тече струја, али је само једном жица била паралелна са иглом и тада се игла окренула. Он је ово проверио, а онда је у њему прорадио прави научнички дух: променио је смер струје и уверио се да се игла окреће, али у другом смеру. Даље је подигао иглу изнад жице и видео да се она окреће у супротном смеру од оног када се налази испод жице. Тако је експериментима дошао да низа закључака. Лако је могуће да је још неко приметио ову појаву, али нико није реаговао тако као Ерстед који ју је одмах детаљно проучио и о томе обавестио научнике широм Европе (1820/21). Зато њему припада признање за ово откриће.



► Слика 5.6. Магнетни опиљци на картону покazuju линије силе магнетног поља

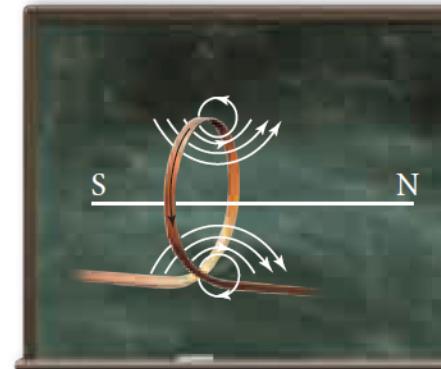
► Слика 5.7. Правило за одређивање смера магнетног поља



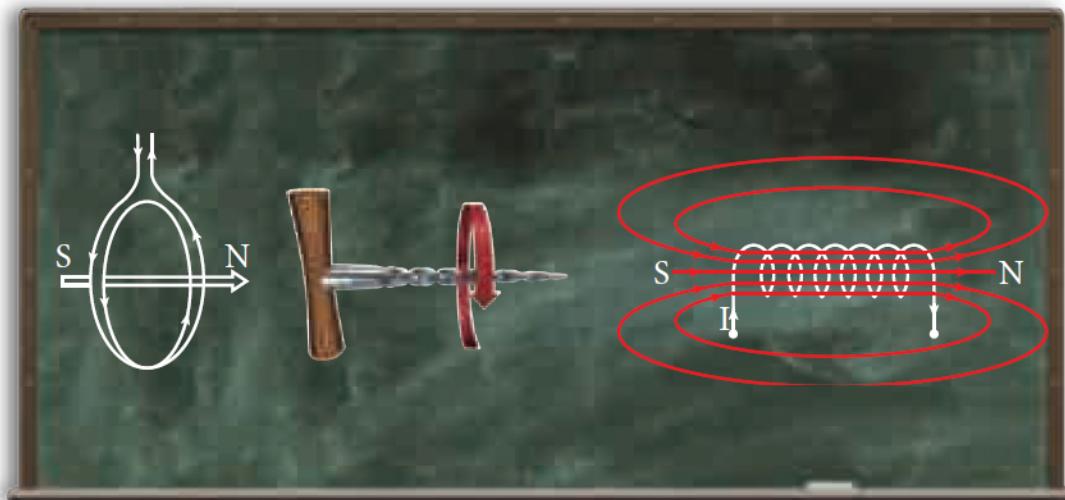
## МАГНЕТНО ПОЉЕ КРУЖНОГ ПРОВОДНИКА И СОЛЕНОИДА; ЕЛЕКТРОМАГНЕТИ

Линије магнетног поља кружног проводника су приказане на слици 5.8. Ако је смер електричне струје онај означен на проводнику стрелицом, онда ће линије магнетног поља представљене танким усмереним линијама свуда окруживати проводник. Замислимо да проводник окружује једну плочицу, онда све линије поља „излазе“ са десне стране плочице и она се понаша као северни пол магнета. Линије сила „увиру“ са леве стране и она се понаша као јужни пол магнета. Битно је да се један кружни намотај понаша као један плочasti магнет (магнетни лист), иако нема никаве плочице.

Правац и смер линија магнетног поља једноставно се одређује правилом десног завртња (слика 5.9).



► Слика 5.8. Линије сила кружног проводника



► Слика 5.9. Правило за одређивање смера магнетног поља и његова ког соленоида

Северни пол листа окренут је у оном правцу и смеру у коме би се померао завртањ када је смер његове ротације исти као смер електричне струје кроз кружни проводник. Ако повежемо више намотаја, добићемо много јаче магнетно поље, и то је тзв. **соленоид**. Постављајући унутар соленоида језгро од меког гвожђа, направили смо веома снажан магнет. Њега називамо електромагнет, да бисмо нагласили да он није сталан магнет, већ се понаша као магнет само док кроз намотаје протиче струја.

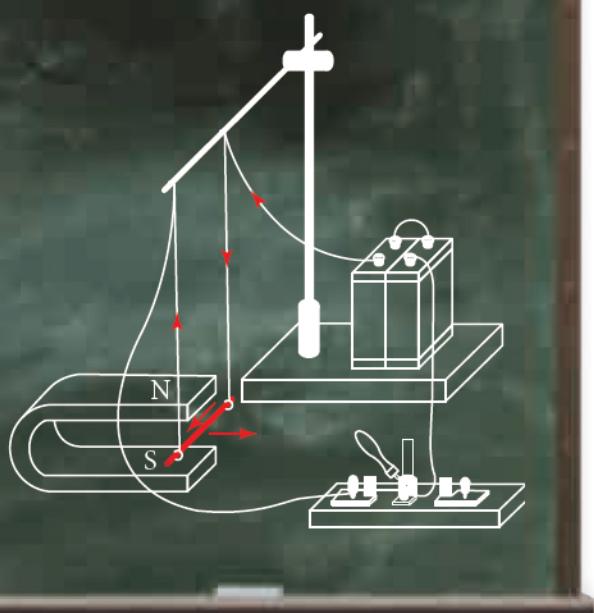
Чим струја престане да тече – престаје и дејство електромагнета. Ову појаву у свом раду користе многи електрични уређаји, као и аутомати.

## 5.3. ДЕЈСТВО МАГНЕТНОГ ПОЉА НА СТРУЈНИ ПРОВОДНИК

Између полова потковичастог магнeta постави се проводник (слика 5.10). Проводник је обешен о две танке жице и може лако да се помера. Кад се прекидачем затвори струјно коло, проводник се помера. Мењањем смера електричне струје или смера магнетног поља, мења се смер померања проводника. Правац и смер померања проводника може се одредити правилом леве руке (слика 5.11).

Ако шаку леве руке поставимо тако да је длан окренут према северном полу магнeta, а прсти у смеру струје, тада палац показује смер кретања проводника.

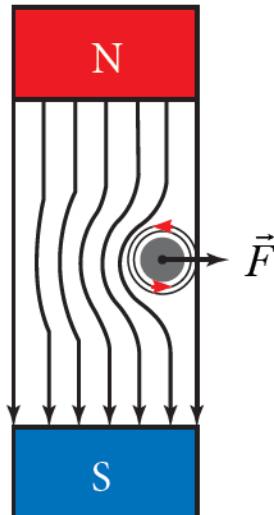
Није тешко разумети зашто се проводник креће. Овде постоје два магнетна поља: магнетно поље сталног магнeta и магнетно поље струјног проводника, тј. проводника кроз који тече електрична струја. Узајамно дејство ова два магнетна поља приказано је на слици 5.12. Види се да стално магнетно поље – непокретно, истискује магнетно поље електричне струје. Пошто се једино струјни проводник може померати, јасно је да ће он бити „изгуран”. Џакле, на струјни проводник делује магнетна сила која изазива механичко кретање. Магнетна енергија се претвара у механичку, а магнетно поље делује на сваки проводник са електричном струјом који се налази у том пољу.



► Слика 5.10. Демонстрирање дејствова мајненданог поља на струјни проводник (црвеним симболима је обележен смер електричне струје)



► Слика 5.11. Правило леве руке



► Слика 5.12. Шематски приказ „истисеривања“ проводника из поља сталној магнети



Правац и смер Амперове сile је одређен: он зависи од правца и смера магнетног поља и смера електричне струје кроз проводник. А од чега зависи њен интензитет?

Мерења су показала да интензитет сile међусобне интеракције ова два магнетна поља зависи од:

- индукције магнетног поља ( $B$ ) сталног магнета,
- јачине електричне струје  $I$ , која протиче кроз проводник,
- дужине ( $l$ ) дела струјног проводника која се налази у магнетном пољу сталног магнета.

Да ли је ово логично? Објасните.

Свака од набројаних величина директно утиче на интензитет сile  $F$  која помера струјни проводник. Математички се то може изразити у облику:

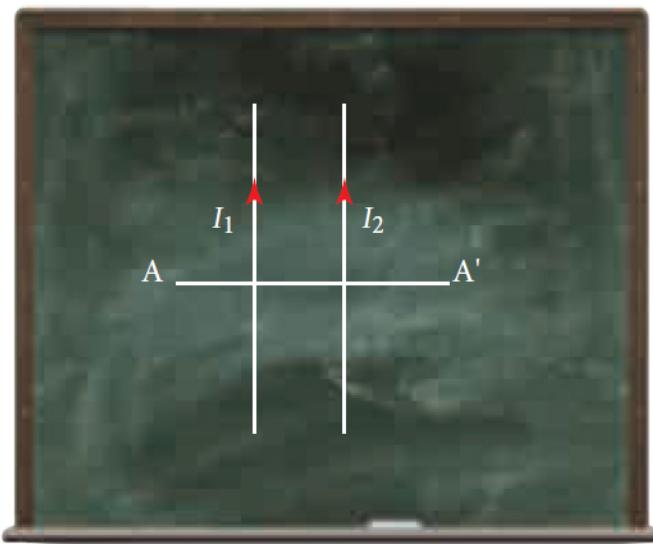
$$F = B \cdot I \cdot l.$$

Ова формула може послужити за дефинисање јединице магнетне индукције.

$$B = \frac{F}{I \cdot l} \Rightarrow 1\text{T} = \frac{1\text{N}}{1\text{A} \cdot 1\text{m}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}.$$

Интеракција двају магнетних поља може се илустровати и приликом протицања електричних струја кроз два паралелна праволинијска проводника (слика 5.13). Сила која истовремено делује на оба проводника има правац  $AA'$ .

Одредити смерове ових сила. Каква је ситуација када струја  $I_2$  има супротан смер протицања од струје  $I_1$ ?



► Слика 5.13. Два паралелна проводника са струјама истог смера

Чим је сазнао за Ерстедов оглед, француски научник Ампер (André Marie Ampère, 1775-1836) почeo је да експериментише и скоро сви претходно описани резултати су његови! Није ни чудо што је њему у част дато име јединици за јачину струје.

## 5.4. ДОПРИНОС НИКОЛЕ ТЕСЛЕ И МИХАЈЛА ПУПИНА НАУЦИ О ЕЛЕКТРИЦИТЕТУ

После Ерстедовог открића да се око проводника кроз који протиче електрична струја формира магнетно поље, бројни научници су се запитали да ли постоји и „обрнута” појава – да се дејством магнетног поља произведе струјни ток.

Након бројних неуспешних покушаја, тек је Мајкл Фарадеј схватио да је за појаву струје у проводнику неопходно да он пресеца линије магнетног поља. То се може постићи како померањем магнета, тако и померањем проводника. Ова појава носи назив **електромагнетна индукција**.

### Мајкл Фарадеј

Мајкл Фарадеј (Michael Faraday, 1791–1867) се сматра за највећег физичара експерименталаца XIX века. Прича о њему изледа као неки Дикенсов роман: када је научио да чита и пише, запошљавају ја као штампарија код књижевесца.

Изузетна личност Мајкла Фарадеја и његов темперамент научника, у великој мери су заокућили пажњу српског физичара Михајла Пупина за време његовој студирања на Универзитету у Кембриџу, у Енглеској.

Пупинове анализе Фарадејевих дела йомоћи ће и нама да схватимо везу између електричности и магнетизма, као и њојам поља и линија силе.

„У својим исхранима Фарадеј је често додиривао још два штапа:

**Шта је електричност? и Шта је магнетизам?** Открио је да крећање магнетизма производи електричне сile, слично ономе, јо коме, према Ерстедовом открићу, крећање електричности производи магнетне сile. Ова изванредна рецирочна релација између електричности и магнетизма узбуђује машту и најони је да завири иза застора који раздваја већ познату исхрину од још неоткривене исхрине. Несумњиво је шта радозналост исхранима Фарадеја да њослави штапа шта је електричност и шта је магнетизам. Фарадеј није никад дао коначан одговор на ова штапа, али његови велики најори да пронађе овај одговор уродили су новим идејама које су основа наших модерних електромагнетних схватања о физичким силама.

(...) Фарадеј је тврдио да се електрично и магнетно деловање преноси од шапке до шапке дуж линија сила. Гоњен својом изванредном интуицијом, он је тврдио да линије сила нису само геометријска слика појаве већ да реално постоје, да постоји нешто слично мишљеној најесности дуж линија сила што покушава да их скрачи, а приписак утраван на те сile покушава да их раздвији.

(...) Фарадејев одговор на штапа **Шта је електричност? и Шта је магнетизам?** био је, према мом штадашњем схватању, да су они манифестија сile; ђеди постоје шакве манифестије, постоји електричност и магнетизам, у смислу да постоје претпоставке и најесности који су последица извесног стања построја који се могу звати електрична и магнетна стања.”

Михајло Пупин: *Са пашњака до научењака,*  
 Завод за уџбенике,  
 Београд, 1996, стр. 166–170.



Открићем индукције отворен је пут за конструисање уређаја који ће давати електричну струју – **генератора**, претварањем механичког рада у електричну енергију, битно различито од батерија, заснованих на хемијским процесима.

Зависно од конструкције, генератори могу да производе једносмерну струју о којој смо до сада говорили, или наизменичну струју која мења смер у времену и то периодично. Како су људи били навикли на једносмерне струје из хемијских извора, већина првих генератора и мотора је била заснована на једносмерним струјама. Кључни проблем су били велики губици енергије при преносу.

**Човек који је заиста схватио колике су практичне предности коришћења наизменичне струје уместо једносмерне, био је Никола Тесла,** Србин који је живео и радио у САД. Он је разумео да се коришћењем особина наизменичне струје у тзв. трансформаторима може мењати напон, а при вишем напону су губици мањи. Нажалост, борба за увођење наизменичне струје је била далеко од било каквог „фер-плеја“. Тесла је трпео неоправдане критике, али су му истовремено и указиване почасти за научна достигнућа. Сада ћемо упознати нека од њих.

## Никола Тесла

Никола Тесла (1856–1943), велики српски изумитељ и истраживач, инжењер технике. Рођен у Смиљану у Лици (данас у Републици Хрватској), а школовао се у Господићу, Карловциу, Бечу и Прају. Највећи део живота провео је у Америци. Његов ироналазачки обус броји преко 1000 изума и око 700 патентова. О ироналасцима сам каже:

„Најважнији продукт сиваралачкој ума је изум. Његов крајњи циљ је постизање овладавање ума природом и искоришћавање њезиних сила за постизање човечанства. То је тежак задатак изумитеља, који се често постешно схвата и недовољно нарађује. Он, међутим, налази велику компензацију у задовољству које пружа његов рад и у сознју да је он јединка изузетне способности без које би врста већ одавно пропала у шешкој борби проплив немилостивих елемената.“

Никола Тесла: *Моји изуми*,  
Клуб НТ, Београд

1. Осцилације и таласно кретање

2. Светлосне појаве

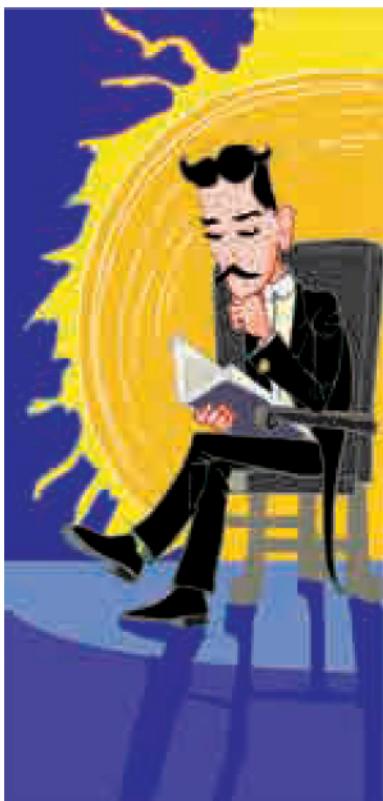
3. Електрично поље

4. Електрична струја

**5. Магнетно поље**

6. Елементи атомске и нуклеарне физике

7. Физика и савремени свет



*Теслин дојринос човечанству обухвата следеће области:*

## Електротехника

Овде свакако спада комплетан систем производње, (жичног) транспорта и експлоатације монофазне и полифазне наизменичне електричне струје (генератори, трансформатори и мотори). Најпогодније од свих су, наравно, трофазне струје због симетричног распореда фаза и могућности превезивања звезда–треугао. Суштина предности наизменичне струје је у томе што се лако може мењати њен напон тзв. трансформаторима, а тиме се смањују губици у транспорту. Применом Теслине трофазне струје смањује се и број потребних водова, што је опет огромна уштеда.

## Оптика

Пре свега то су проналасци електричног и електролучног пражњења кроз гасове – електричне вакуумске и гасне цеви за осветљење, те специфичан начин добијања рендгенских зрака и сл.

## Радио и телетехника

Изумом специјалне завојнице, односно трансформатора, произведене су високонапонске (и до неколико стотина хиљада волти) и високофреквентне, тзв. Теслине струје и јако индукционо електромагнетно поље. Ако се у овакво поље унесу стаклене цеви са разређеним гасом и без електрода – оне ће светлести. Теслине струје и одговарајуће електромагнетно поље не само да су безопасне за человека, већ имају и позитивно биолошко дејство, па се користе у медицини за терапијске сврхе. Оваква високофреквентна поља искоришћена су за конструкцију система за бежични пренос електричне енергије, сигнала и знакова, чиме је Тесла поставио темеље теледириговања.

## Машинство

Ради ефикаснијег и једноставнијег рада појединих механичких делова и машина, Тесла је конструисао оригиналне пнеуматичке и гасне вентиле, разрадио потисни принцип реактивног мотора и пронашао начин аeronautичког вертикалног узлета авиона.

## Медицина

Теслиним струјама успостављен је терапијски метод – дарсонвализација, за лечење нервних обољења, а оне се употребљавају и у електрохирургији за извођење деликатних оперативних захвата због уског реза и брзог згрушавања крви.

## Физика

Природним наукама Тесла је подарио низ оригиналних научних радова и расправа, највећим делом из електромагнетизма.

## Књижевност

И поред научно-истраживачког рада коме је посветио „све своје тренутке”, нашао је времена и за литературни допринос. Године 1902. на енглески је превео и објавио Змајеву збирку поезије. Након изласка књиге из штампе, сам је рекао да никада није био задовољнији.

О свом раду сам каже:

*Признайо ми је да сам био један од највећих радника, уколико је мисао еквивалентна раду, јер ъвој сам посветио ѹитово све своје будне саїте. Ја сам се хранио својим мислима. Као ми се јави идеја, одмах је у машти ѹочињем ћрадићи.*



За свој, богат и огроман научно-технички допринос, добио је бројна светска признања. Постао је угледни члан најуваженијих институција као што су: Британски краљевски институт, Њујоршка и Српска академија наука и др. Одликован је „Едисоновом”, „Скотовом” и „Кресоновом медаљом”. Стекао је почасне докторате на многим универзитетима широм света (нпр. Колумбија и Небраска у САД, Грац, Беч, Праг, Броно, Сорбона, Гренобл, Букурешт, Софија, Загреб и Београд у Европи). На фасади познате „научничке” зграде у Стразбуру постављене су спомен-табле највећих умова света, а Теслина се налази поред Планкове, Ајнштајнове, Борове...

Већ смо напоменули да је у част нашег научника и проналазача, за његов огромни допринос развоју науке и технике, за његова открића која користи читаво човечанство, јединица за интензитет магнетне индукције у Међународном систему јединица названа његовим презименом: тесла (T).

### **Тесла, Вестингхаус и Нијајара**

Последио је лећенарна анеђота да је Тесла са индустријалцем Вестингхаусом (Westinghouse, George), који је трајно хидроцентралу на Нијајари, склојио уговор ћојему је ћој свакој производеној јединици снаје припадала одређена своја. Централа је била веома усјешна, али да су исплатили Тесли све што су му били дужни, он би постао власник целе компаније. Када је Вестингхаус зидао у одређене финансијске прешкоће, Тесла је једноставно поцео дајући уговор у знак захвалности што је Вестингхаус веровао у њеја.

Сада је време да се упознамо и са животом другог великана у области електричитета, а то је Михајло Пупин.

### **Михајло Пупин (1854–1935)**

Српски физичар и електротехничар, рођен је у банајском селу Извору, где завршива основно школовање. Средњу школу учи у Панчеву и Прају, али после очеве смрти 1874. године одлази у САД. Скоро 5 година слуша и бави се различитим пословима уједно се припремајући за упис на факултет. Усјешно пољаже пријемни испит на Колумбија колеџу у Њујорку и исто тако усјешно ступира издржавајући се приватним часовима и најрадама за добре ступене. Дипломира за 4 године и као најраду добија стипендију за усавршавање у Европи. Изучава физику у Кембриџу и Берлину где и докторира код Хелмхолца (помињали смо ја у 7. разреду). По повратку се веома мноћо бави наставом на Колумбија колеџу. Искусством стичена у Европи му помажу да чим сазна за Ренџеново откриће X-зрака може да начини још боље снимке људских органа. Исповремено открива и секундарне X-зраке. Најзначајнији је његов допринос развоју телефоније, јер његов патент јакозваних „Пупинових калемова” омогућује квалиштан пренос синала на велике даљине. Овај проналазак му је донео славу и улед. Начинио је и друге проналаске. Никада није прекидао везе са родним крајем. Био је активан шоком мировне конференције после I свјетског рата као члан-консултант југословенске делегације. Године 1923. пише аутобиографију „Са Јашњака до научењака” која наредне године добија Пулицерову најраду, најзначајнију литерарну најраду у САД у кашејорији биографија. Ова књига, некада дес обавезне лекције и код нас и у САД, и данас је младо читаоца занимљивим излајањем. Написао је и бројне научно-популарне књиге. Данас физичке лабораторије Универзитета Колумбија носе његово име.





## ПОСЕБНО УПАМТИТИ

Истоимени полови магнета се одбијају, а разноимени се привлаче.

У простору око магнета се запажа дејство на друге магнете и магнетне материјале, зато кажемо да око магнета постоји магнетно поље. Магнетно поље се приказује магнетним линијама сile.

Појава да се гвожђе намагнетише у магнетном пољу и да делује као магнет зове се магнетна инфлуенција.

Магнетно поље се карактерише магнетном индукцијом. То је величина одређена својим интензитетом, правцем и смером. Обележава се са  $\vec{B}$ .

Око проводника кроз који тече струја формира се магнетно поље. Ако се проводник кроз који тече струја нађе у магнетном пољу, на њега делује сила:

$$F = B \cdot I \cdot l,$$

која тежи да га помери из тог поља. Правац и смер те – Амперове силе зависи од правца и смера магнетног поља и усмерености електричне струје кроз проводник, а одређује се правилом испружене леве руке.

### ПИТАЊА



1. Како ће се поуздано утврдити да ли је сечиво ножића челично?
2. Магнет у облику затвореног прстена ставља се често на календар, по коме се руком помера на одговарајући датум. Објасните:
  - а) како магнет стоји на календару када је он обешен о зид;
  - б) где су полови оваквог магнета.
3. Како се може утврдити на необележеном магнету који је северни, а који јужни пол?
4. На ком принципу је заснован рад електромотора?
5. Каква је разлика између сталног магнета и електромагнета?

### ПИТАМ СЕ, ПИТАМ

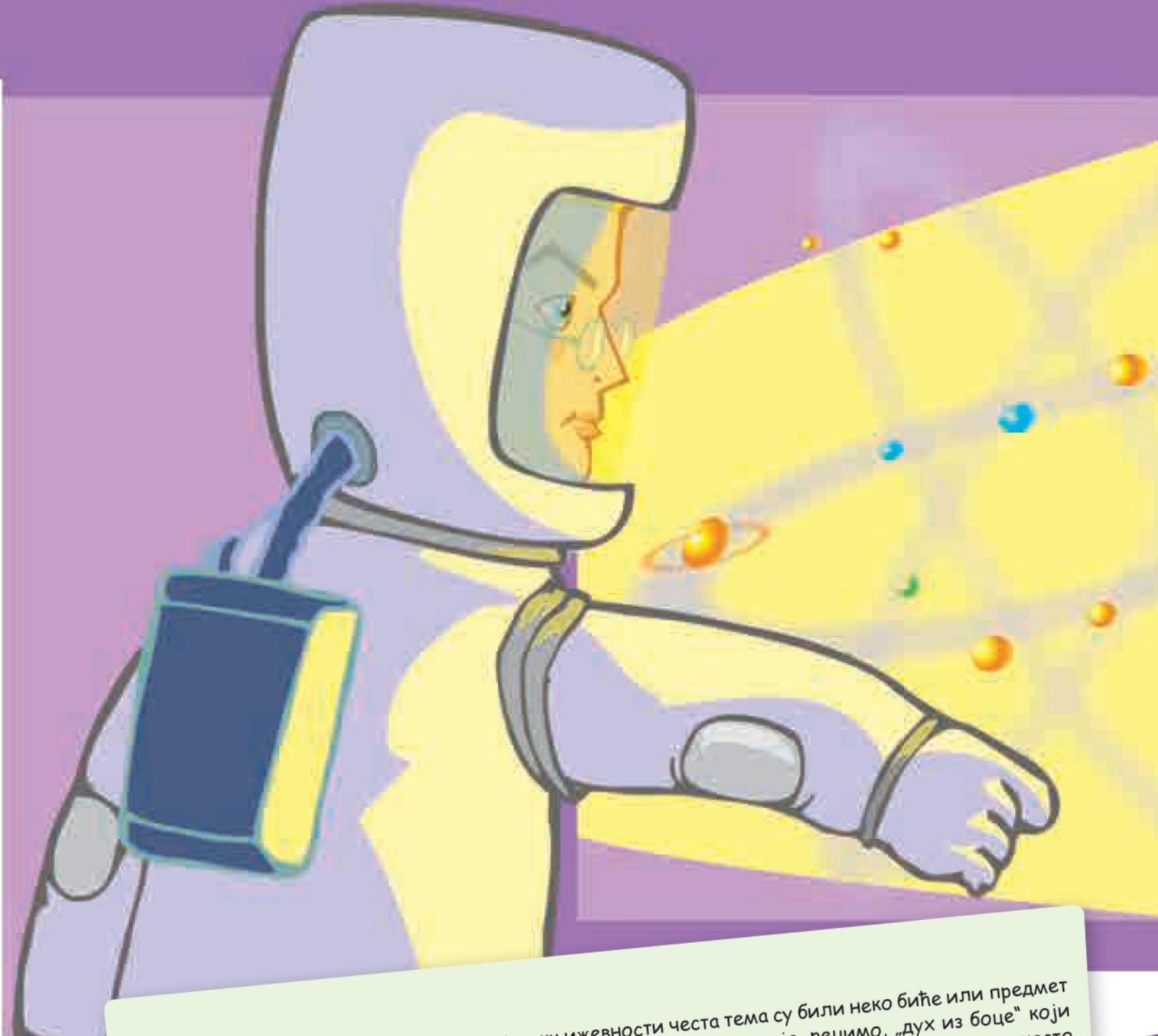
1. Да ли се у подморници може користити магнетни компас?
2. На који начин се помоћу магнетне игле могу одредити полови батерије?
3. Какав положај заузима магнетна игла компаса на половима Земље?  
(Одговоре пронађите сами користећи литературу и неки интернет претраживач, нпр. Google Search, Wikipedia и сл.)



## Поларна светлосӣ

Једна од најлепших оићичких појава која се може видети на небу, али не у нашим крајевима је поларна светлосӣ. Како она настаје? Мерења су показала да са йоврши Сунца на све супране йолазе снажни веома брзих наелектрисаних честицима као и другот зрачења, који се једним именом називају Сунчев ветар. Овај „ветар“ је веома ојасан за живи свет и космонаути морају бити заштитени од њеја. Када се он приближи Земљи, њено магнетно поље тако делује на честице да их скрене са пута и оне не доспеју на Земљу. Моји пријатељи Земљи само у околини његова где је сила којом магнетно поље делује на честице које се крећу најслабија. Када ове честице доспеју у атмосферу, предају енергију молекулама ваздуха током судара и због тога ови светлуцају. То је управо појава поларне светлосӣ.

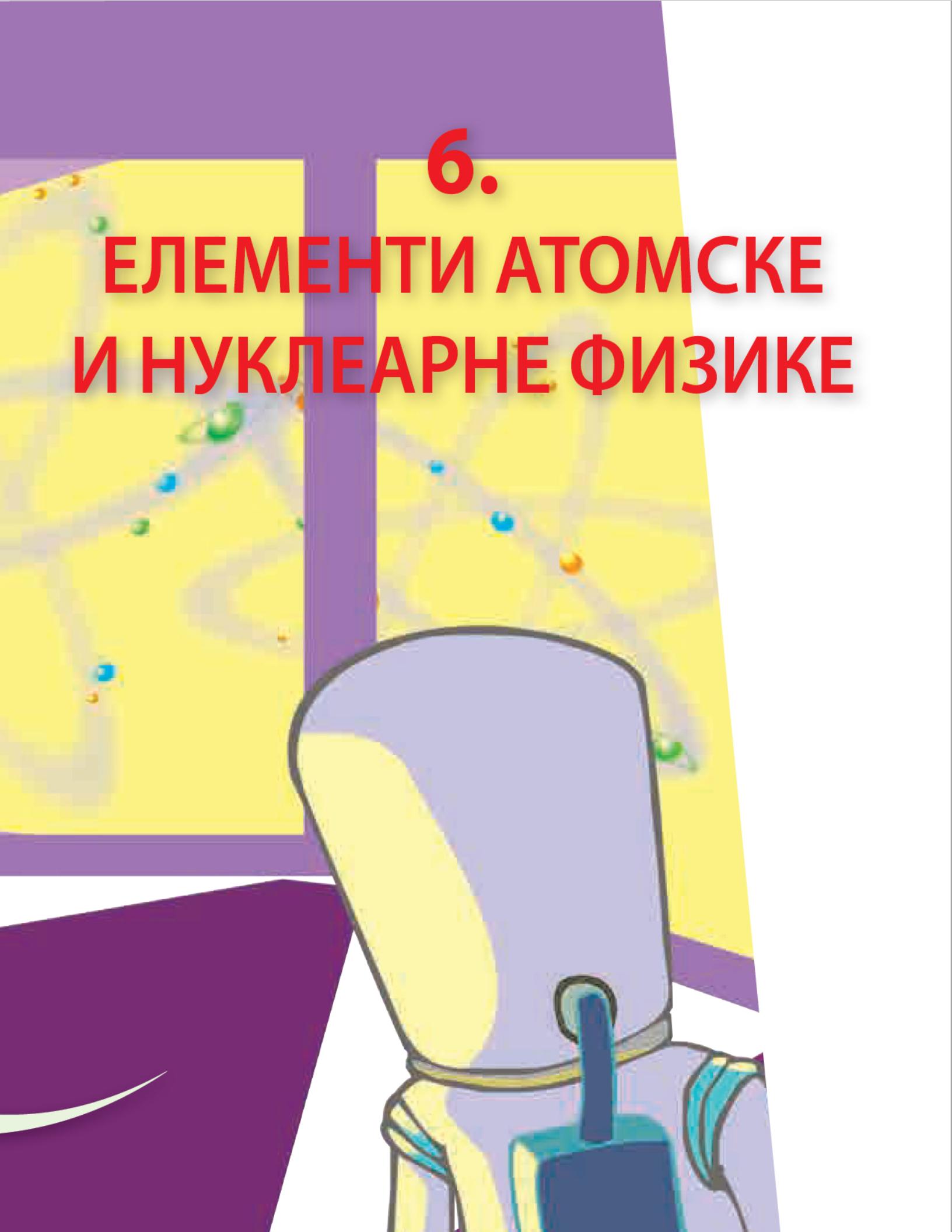




У митовима разних народа, па и касније у књижевности честа тема су били неко биће или предмет са сврхом да помогну људима, али су се отели контроли. Пример је, рецимо, „дух из боце“ који није хтео да се врати у боцу након што је обавио своје задатке. Управо са таквим духом често упоређују нуклеарну енергију која је сматрана спасоносним решењем у време кризе енергије, али је, нажалост, најпре искоришћена за стварање ужасног оружја у свакодневном животу названог „атомска бомба“, иако, строго говорећи, треба рећи нуклеарна бомба. Већ смо више пута говорили о структури супстанције, па хајде да то употребимо.

# **6.**

# **ЕЛЕМЕНТИ АТОМСКЕ И НУКЛЕАРНЕ ФИЗИКЕ**



# 8 ФИЗИКА

- 1. Осцилације и таласно кретање
- 2. Светлосне појаве
- 3. Електрично поље
- 4. Електрична струја
- 5. Магнетно поље

## 6. Елементи атомске и нуклеарне физике

- 7. Физика и савремени свет

# 6.1. СТРУКТУРА АТОМА

## ЕЛЕМЕНТАРНЕ ЧЕСТИЦЕ

Одавно су људи дошли до закључка да се сва тела сastoјe из атома. Познати грчки научник Демокрит је још у V веку пре наше ере први истакао ову чињеницу, уз објашњење да су те честице даље недељиве. На почетку XIX века откријено је да атом није недељив, већ да је и он састављен из честица. Прва је била откријена **негативно наелектрисана честица – електрон**. Ускоро је после овога откријена и **позитивно наелектрисана честица протон**, а затим и **неутрална честица – неутрон**.

Да ли су ове честице недељиве?

Има много знакова који указују на то да и ове честице нису просте, већ да су састављене од других, још ситнијих делова. До сада је постојало дубоко веровање да је електрон најмања честица наелектрисана најмањом могућом количином електричитета. Међутим, данас постоје основе за сумњу у исправност ових схватања.

Експерименти показују да је стварност микросвета атома пуно сложења од оне коју приказујемо електроном, протоном и неутроном. Данас је познато више стотина елементарних честица.

Уобичајени начин изучавања структуре нуклеарних језгра и производње елементарних честица у лабораторији се састоји у бомбардовању одабраног језгра – мете подесном честицом као пројектилом. Честице – пројектили се убрзавају у уређајима познатим као акцелератори (убрзавачи). У њима се наелектрисане честице убрзавају и усмеравају дејством јаких електричних и магнетних поља. Данас располажемо циновским акцелераторима који честицама – пројектилима дају огромну енергију.

Докле ће доћи људско сазнање у тајнама атома и супстанције, то још нико не зна, а још мање се зна шта ће се на том путу откристи.





## ГРАЂА АТОМА

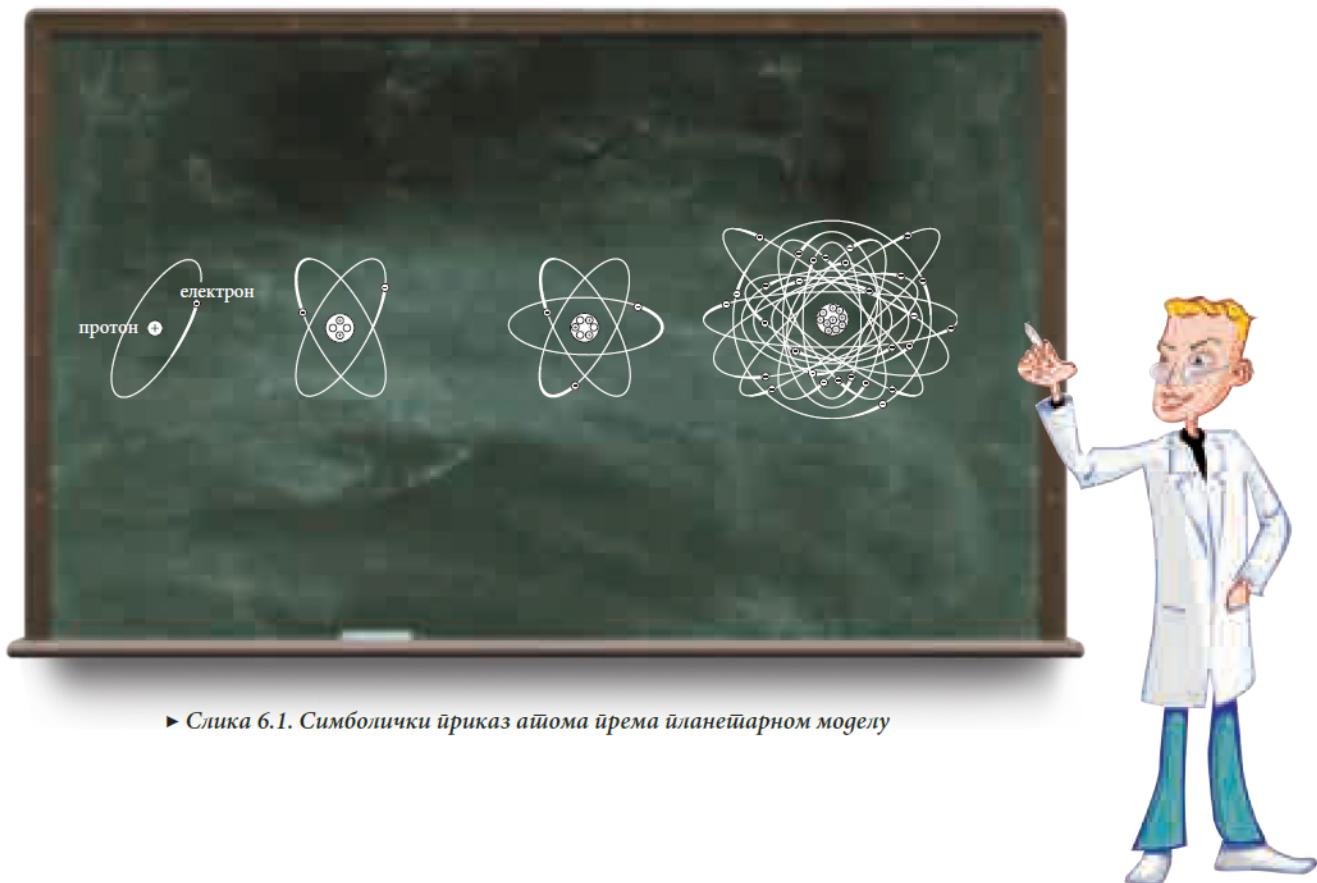
Према савременим сазнањима атом се састоји од језгра (нуклеуса) и електронског омотача, тј. од скупа електрона распоређених око језгра. Атомско језро има сложену структуру. Оно се састоји од две врсте честица – протона и неутрона, приближно истих маса. Један протон или један неутрон има око 1840 пута већу масу од електрона.

Атом, dakle, садржи три врсте честица, протоне и неутроне у језгу, и електроне у омотачу око језгра. Протони и електрони су наелектрисани једнаким количинама електричитета супротног знака.

**Број протона у атому увек једнак броју електрона,  
па је сваки атом електро-неутралан.**

У унутрашњости атома делују привлачне сile – позитивно наелектрисано језро и негативно наелектрисан омотач међусобно се привлаче, али кретање електрона их спречава да падну на језгрю, тако да се одржава стабилност атома. Ово подсећа на ситуацију у Сунчевом систему где Сунце гравитационом силом привлачи планете, али оне круже око њега и зато не падају. Зато се овакав модел атома и назива планетарни модел атома (слика 6.1).

Навели смо два назива за саставни део атома: „језгрю“ и латински израз „нуклеус“. Користићемо израз језгрю, али је чињеница да сви изрази који су повезани са њиме користе пријев „нуклеарни“, а не „језгровити“ или „језгрени“. Зато када кажемо да се у овом делу бавимо нуклеарном физиком тиме кажемо да се бавимо физиком језгра.

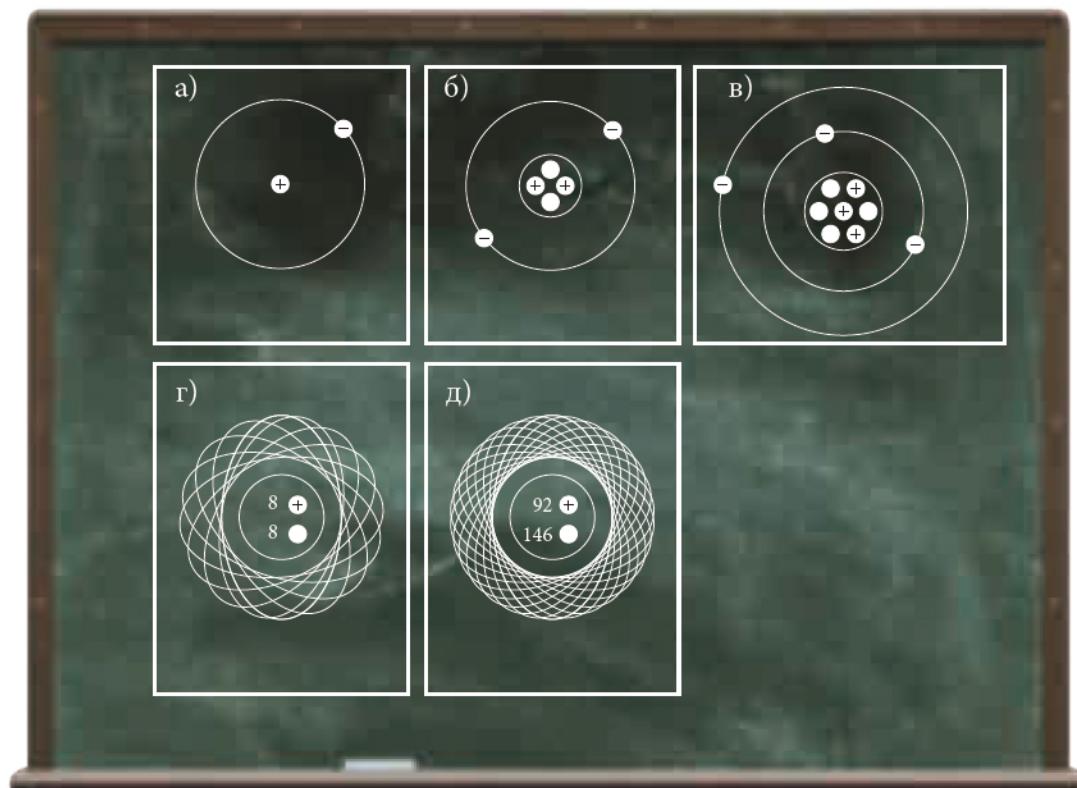


► Слика 6.1. Симболички приказ атома јерема планетарном моделу

Планетарни модел неких атома приказан је на слици 6.2.

Атом водоника, по структури најједноставнији атом, састоји се од једног протона у језгру и једног електрона у омотачу (слика 6.2а).

У природи постоје атоми са бројем електрона од 1 до 92, који су настали без учешћа људи. Постоје и други атоми које је човек произвео у лабораторији са више од 100 електрона. Као што сте вероватно већ чули у настави хемије, атоми су карактеристике супстанција које називамо **елементима**. На слици 6.2б шематски је приказан атом хелијума са два протона и два неутрона у језгру и два електрона у омотачу, док је на слици 6.2в приказан атом литијума чије језгро садржи три протона и четири неутрона, а у омотачу има три електрона. Атом кисеоника садржи осам протона, осам неутрона и осам електрона (слика 6.2г).



► Слика 6.2. Шематски приказ атома који код једноставнијих атома (водоник а), хелијум б) и литијум в)) узима у обзир да се електрони налазе на различитим орбитама око језира; за сложеније атоме (кисеоник г) и уран д)) пуштање електрона није било могуће приказати у доброј размери

Број протона или електрона у атому представља и његов редни број у Периодном систему елемената.

Искуство показује да хемијске особине зависе пре свега од електрона, и зато су оне везане за атоме. Тиме се бавите у настави хемије. Нас ће овде више занимати особине везане за језгра.



## ЈЕЗГРО АТОМА И НУКЛЕАРНЕ СИЛЕ

Број неутрона једнак је броју протона код малог броја елемената (првих 20) на почетку Периодног система. Уколико се више иде ка његовом крају, утолико број неутрона у језгру постаје већи од броја протона. Тако, на пример, језгро атома урана има 146 неутрона и 92 протона (слика 6.2д).

Неки елементи могу имати у језгру различити број неутрона, чиме се не мењају њихове хемијске особине, али им се мења атомска маса, јер је маса неутрона приближно једнака маси протона. Ово су изотопи тих елемената. Велики број елемената имају изотопе. Они се јављају у природи или се добијају вештачки. Тако, на пример, водоник има још два изотопа:

– *тешки водоник*, назван *деутеријум*, има у језгру један протон и један неутрон.

– *супертешки водоник – трицијум*, има у језгру један протон и два неутрона.

Већ смо објаснили да су у природи могући процеси у којима се од неутралног атома одваја један или више електрона. Одвојени електрони се називају **слободни електрони**, а „остаци” атома – **позитивни јони**. Дешава се и обратни процес. Неки од слободних електрона могу ући у састав електронског омотача атома. Тако настају **негативни јони**.

Атом и јон који настаје од тог атома, имају исто атомско језгро. Наиме, при процесу одвајања електрона – јонизације, не мења се број ни протона ни неутрона у језгру. Број протона у језгру је основна карактеристика сваког атома (и јона). Назива се **атомски број** и најчешће се обележава са  $Z$ . Укупан број протона и неутрона у језгру, који се једним именом називају **нуклеони**, чини **масени број** и он се обележава са  $A$ . За наведене примере атома са слике 6.2 бројеви  $Z$  и  $A$  су: за водоник  $Z = 1$  и  $A = 1$ , за хелијум  $Z = 2$  и  $A = 4$ , за литијум  $Z = 3$  и  $A = 7$ ...

Ознаке за атоме, прецизније њихова језгра, садрже хемијски знак ( $X$ ), атомски број ( $Z$ ) и масени број ( $A$ ):



Ознаке за језгра атома на слици 6.1 су:  $_1^1 H$ ,  $_2^4 He$ ,  $_3^7 Li$ ,  $_8^{16} O$ ,  $_{92}^{238} U$ .

Пречник језгра је много пута мањи од пречника атома. Кад би се језгро приказало куглом величине чиодине главе, путање електрона би имале полупречник од око 20 метара. Језгра имају много већу масу од електрона атомског омотача, па се може сматрати да се електрони око њих крећу слично кретању планета око Сунца (слика 6.2). Као што смо већ рекли, овај атомски модел назива се планетарни модел. Између протона у језгру владају одбојне електричне сile. Одбијање је толико велико да би ове сile за врло кратко време разориле свако језгро атома у природи. Међутим, то се ипак не догађа, јер између нуклеона у језгру делују и друге сile – **нуклеарне сile**. Нуклеарна интеракција је привлачна и око 100 пута јача од електричне. Привлачне нуклеарне сile делују како између протона и протона, неутрона и неутрона, тако и између протона и неутрона.

**Нуклеарне сile не зависе од врсте нуклеона.**

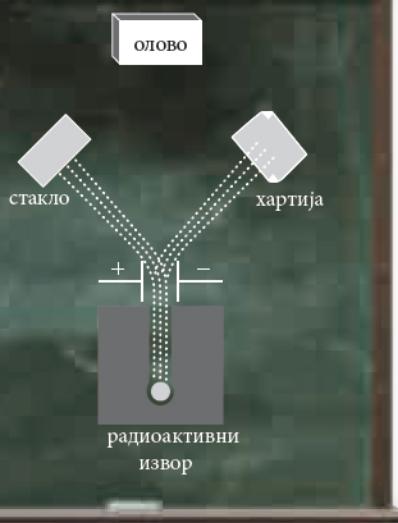
Деловање нуклеарних сile се не опажа у свакодневном животу јер оне, за разлику од електричних сile, делују само на врло малим растојањима.

# 8 ФИЗИКА

- 1. Осцилације и таласно кретање
- 2. Светлосне појаве
- 3. Електрично поље
- 4. Електрична струја
- 5. Магнетно поље

## 6. Елементи атомске и нуклеарне физике

- 7. Физика и савремени сви



► Слика 6.3. Ослег којим се дешавају при врсте зрачења које емитују радиоактивни елементи

У емитованом зрачењу могу постојати и позитивни  $\beta$ -зраци, који се састоје од позитивно наелектрисаних елементарних честица са масом једнаком маси електрона. То су позитрони. На Сл. 6.3 они би скретали на исту страну као и  $\alpha$ -честице. Они се, међутим, појављују само у зрачењу вештачки створених изотопа.



## 6.2. ПРИРОДНА РАДИОАКТИВНОСТ

Прве податке о променама унутар атома, за које се касније показало да су у ствари промене у језгрима, добио је Анри Бекерел (Henri Becquerel, 1852–1908) крајем XIX века, када је утврдио да неки елементи великих масених бројева (елементи са kraja Периодног система елемената) емитују извесно зрачење. Ова појава назvana је **радиоактивност** (*radiare* – латински: зрачити). Бекерел је појаву радиоактивности најпре запазио код атома урана (U). Марија и Џер Кари (Curie) су такође истраживали ову појаву и открили су нове, до тада непознате, елементе баш преко радиоактивног зрачења тих елемената. Утврдили су да неки од новооткривених елемената зраче знатно јаче од урана. Такав је, на пример, елемент радијум (Ra).

Појава да неки елементи спонтано отпуштају (емитују) невидљиво зрачење зове се **природна радиоактивност**.

(Надаље ћемо користити израз „радиоактивни зраци”, који је одомаћен, иако не сасвим јправилан, јер се појава радиоактивности односи на емитовање тих зрака, а не на њихове особине.)

Да би се утврдила природа радиоактивних зрака, ставља се нека радиоактивна супстанција у оловно кућиште дебелих зидова (слика 6.3). На излазу из кућишта поставе се две металне плоче наелектрисане супротним врстама електрицитета, тако да између њих влада јако електрично поље. У продужетку се поставља неки уређај који може да забележи присуство зрачења. Такви уређаји се називају **детектори**. Један од пример детектора је и фотографска плоча (фотоплоча) коју најпре изложимо зрачењу па је онда развијемо и региструјемо трагове зрачења. Анализирајући зрачење различитих материјала, Марија Кари је то сумирала на следећи начин: радиоактивни зраци, које емитује радиоактивна супстанција, могу да буду три различите врсте:

- Према негативно наелектрисаној плочи скрећу позитивно наелектрисани зраци, названи  $\alpha$  (алфа)-зраци.
- Према позитивно наелектрисаној плочи скрећу негативно наелектрисани зраци, названи  $\beta$  (бета)-зраци.
- Зраци који нису скренули названи су  $\gamma$  (гама)-зраци и они нису наелектрисани.

Даљим испитивањем утврђено је следеће:

$\alpha$ -зраци су језгра атома хелијума, тј. садрже два протона и два неутрона. Зато се они понекад зову  $\alpha$ -честице. Њихово позитивно наелектрисање потиче од наелектрисања два протона.

$\beta$ -зраци су брзи електрони и зову се  $\beta$ -честице.

$\gamma$ -зраци су електромагнетни таласи, као и светлосни, али много мање таласне дужине, чак и од ултраљубичастих зрака. Невидљиви су и врло су прдорни. Могу проћи кроз бетонски зид дебљине једног метра, али не могу проћи кроз оловни зид исте дебљине.

Сви ови зраци при проласку кроз човеково тело могу изазивати веома штетне биохемијске реакције.

Поменути зраци потичу из језгра радиоактивних елемената и последица су њиховог распада. Тад распад може бити природан и вештачки изазван.



Радиоактивни распад је спонтани процес, на њега се не може утицати, односно, он се не може ни убрзати ни успорити. Последица распада је да тежи атоми прелазе у лакше, при чему настају радиоактивни зраци. Тако се радијум распада отпуштајући при томе а и γ зраке и даје, као потомак, други радиоактивни изотоп. Неки од тих потомака емитују и β-зраке. Коначно, после низа преображaja, настаје олово, које више није радиоактивно.

При радиоактивном распаду трансформише се једна врста језгра (несталбила) у друга (која могу бити несталбила или стабилна), а ослобађа енергија радиоактивног распада. При сваком распаду један радиоактивни атом пређе у свог потомка тако да се број радиоактивних атома дате врсте у току времена смањује, па се смањује и интензитет зрачења атома те врсте. Уколико је и потомак радиоактиван, може се десити да укупан интензитет зрачења буде већи. Интензитет зрачења се сигурно смањује само уколико је потомак распада стабилан.

Пример распада језгра урана изгледа овако:  $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{231}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$ . Овде се 92 протона језгра урана распоређују у језгру торијума (90) и језгру хелијума (2). Ова реакција представља шему α-распада.

Следећа реакција представља β-распад (настајање језгра никла од језгра кобалта):  $^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow ^{60}_{28}\text{Ni} + e^-$ . Овде се један неутрон из језгра кобалта распада на протон и електрон. Протон остаје у језгру градећи језгро никла, а електрон напушта језгро.

## Марија Кири

Марија Склодовска Кири (1867-1934) је пример истражности. Провела је дане радећи у импровизованој хемијској лабораторији да би издвојила минималне количине радиоактивних субстанци како би мојла да испитала њихове особине. Тако је скоро 4 године радила на издавању радијума. Наравно, није била сама. Њен супруг Пјер јој је стално помагао, али она је била та која је обављала највећи део хемијских реакција.

Мало је научника који су оставили тако снажан трај у широј јавности као супружници Кири. Написане су бројне књиже и по њима снимљени филмови.

Нешто ог ће радне атмосфере можда најбоље осликава сећање Марије Кири на прва трајања за радиоактивним хемијским елементима: „Тај период за моја мужа и мене је представљао херојску епоху нашеј заједничкој раду. Ипак, у оној бедној старој шутији пропекле су најбоље године нашеј живота, пошто су посвећене раду. Често сам сремала обег у самој шути да не бисмо прекидали какав важан постујак. Проводила сам често читав дан у мешању кључале масе твозденом шийком скоро моје величине. Увече сам била сломљена од умора.“

Марија Кири је умрла у шездесетседмој години живота од леукемије, болести изазване прекомерним озрачивањем која је окончала и животе многих пионира радиоактивности.



## 6.3. ВЕШТАЧКА РАДИОАКТИВНОСТ

Прво смо рекли да радиоактивни распад може бити природан или вештачки изазван, а онда смо нагласили да је радиоактивни распад спонтани процес на који се не може утицати, односно он се не може ни убрзати, ни успорити. Шта ми онда вештачки изазивамо? Ми вештачким путем, рецимо „бомбардовањем“ језгра неком честицом, можемо изазвати процес (нуклеарна реакција) у којем ће стабилно језгро прећи у друго, које се радиоактивно распада. То се подразумева под појмом **вештачка радиоактивност**. (Напоменимо да је ову појаву 1934. године прва открила кћерка Марије Кири Ирена, радећи са својим супругом Фредериком Жолио-Киријем.)

### НУКЛЕАРНА ФИСИЈА

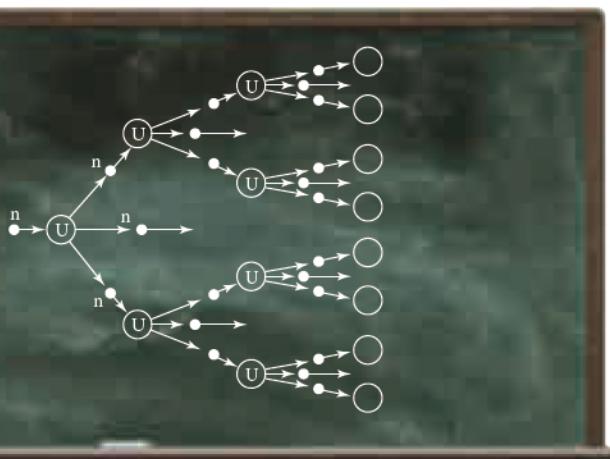
Поред наведених врста распада језгра, постоји још један процес при којем се мења језгро. То је **цепање језгра** или **нуклеарна фисија**. При фисији настају два нова, лакша језгра и ослобађа се енергија – **фисиона енергија**, која је до 20 пута већа од енергије која се ослобађа у  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  распаду. А у поређењу са хемијским реакцијама (сагоревања) енергија фисије је милионима пута већа. Два лакша језгра настала фисијом називају се **фисиона продукти** или **фрагменти**.

Спонтана фисија као нуклеарни распад дешава се врло ретко. Постоје, међутим, процеси (**нуклеарне реакције**) који могу изазвати цепање језгра. На пример, фисију урана ( $^{235}_{92}\text{U}$ ), могу иззврати неутрони (слика 6.4).

Када неутрон доспе у језгро атома, у језгру настаје поремећај и оно се дели – цепа на два дела, који најчешће нису једнаки. Уз то се ослобађају 2 до 3 нова неутрона, а јавља се и радиоактивно зрачење. Разбијањем језгра атома ослободи се, осим радиоактивних зрака, и огромна топлота.

Међутим, неутрони који су изашли из првог разбијеног језгра могу да погоде друга језгра и изазову у њима цепање, а онда неутрони из ових удају у суседне, и тако се цепање наставља по шеми приказаној на слици 6.6. Прво језгро је после цепања испустило 2–3 неутрона. Уколико се створе

услови да два неутрона настала у истом распаду увек погоде два нова језгра, број фисија ће се временом удвостручавати. У првом кораку (или циклусу) добиће се два разбијена језгра; онда њихова четири неутрона разбијају следећа четири језгра; затим ће бити разбијено 8, 16, 32, 64, 128 итд. језгара. То је **ланчана реакција**. Ова реакција је врло брза, тако да се цепање језгра атома садржаних у једном килограму  $^{235}\text{U}$  изврши за неколико милионитих делова секунде. При томе је укупна ослобођена енергија огромна. Само из једног килограма  $^{235}\text{U}$  добија се топлотна енергија која одговара количини топлоте насталој сагоревањем око 300 вагона најбољег угља.



► Слика 6.4. Шема ланчане реакције

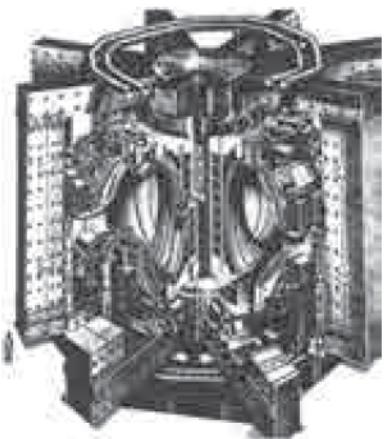


## НУКЛЕАРНА ФУЗИЈА

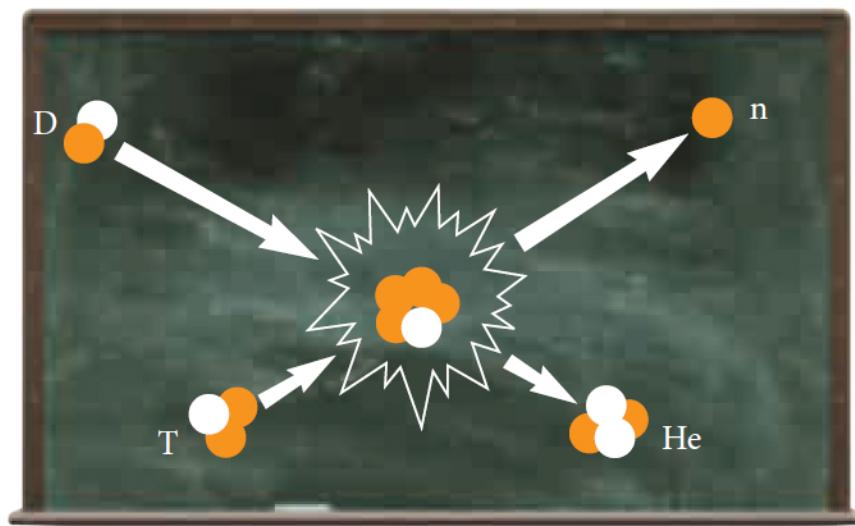
У процесима нуклеарне фисије тешко језгро се цепа на два лакша језгра и ослобађа се фисиона енергија. Процеси нуклеарне фузије су, на неки начин, супротни фисији. У овим процесима лака језгра формирају ново језгрво, а што је нарочито битно – и у овим процесима се ослобађа огромна енергија – фузиона енергија. Фузиона енергија је истог реда величине као и енергија ослобођена при фисији, дакле милионима пута већа од хемијске енергије, на пример енергије сагоревања водоника и кисеоника. Два протона и два неутрона, на пример, могла би да образују језгрво хелијума, али је потребно да се та четири нуклеона приближе један другоме на врло мало растојање (пречник језгрво хелијума), јер тек на том растојању делују привлачне нуклеарне сile, неопходне за формирање језгрво. То се у пракси не остварује директно, већ преко низа међуреакција.

Проблем који се овде јавља јесу одбојне електричне сile међу протонима. Да би се протони приближили на тако мало растојање, потребно је да расположу веома великим кинетичким енергијама, што се може постићи врло високим температурама. У лабораторијама на Земљи се то тешко остварује. Истина, у неколико великих научних лабораторија на свету развијају се прототипови за овакве процесе, и извесни резултати су постигнути (слика 6.5). Једна од реакција фузије која обећава подесан извор енергије је стапање тешких изотопа водоника, деутеријума (D) и трицијума (T). У реакцији настају језгрво атома хелијума и неутрон, а ослобађа се огромна количина енергије (слика 6.6).

Међутим, процеси фузије непрекидно теку у унутрашњости звезда, као и на нашем Сунцу.



► Слика 6.5. Експериментални уређај за истраживања производње нуклеарне енергије у процесом фузије. О димензијама постројења казује човек који стоји у доњем левом углу.



► Слика 6.6. Симболични приказ реакције фузије: језгра деутеријума и трицијума дају језгро хелијума уз ослобађање једног неутрона

# 8 ФИЗИКА

- 1. Осцилације и таласно кретање
- 2. Светлосне појаве
- 3. Електрично поље
- 4. Електрична струја
- 5. Магнетно поље

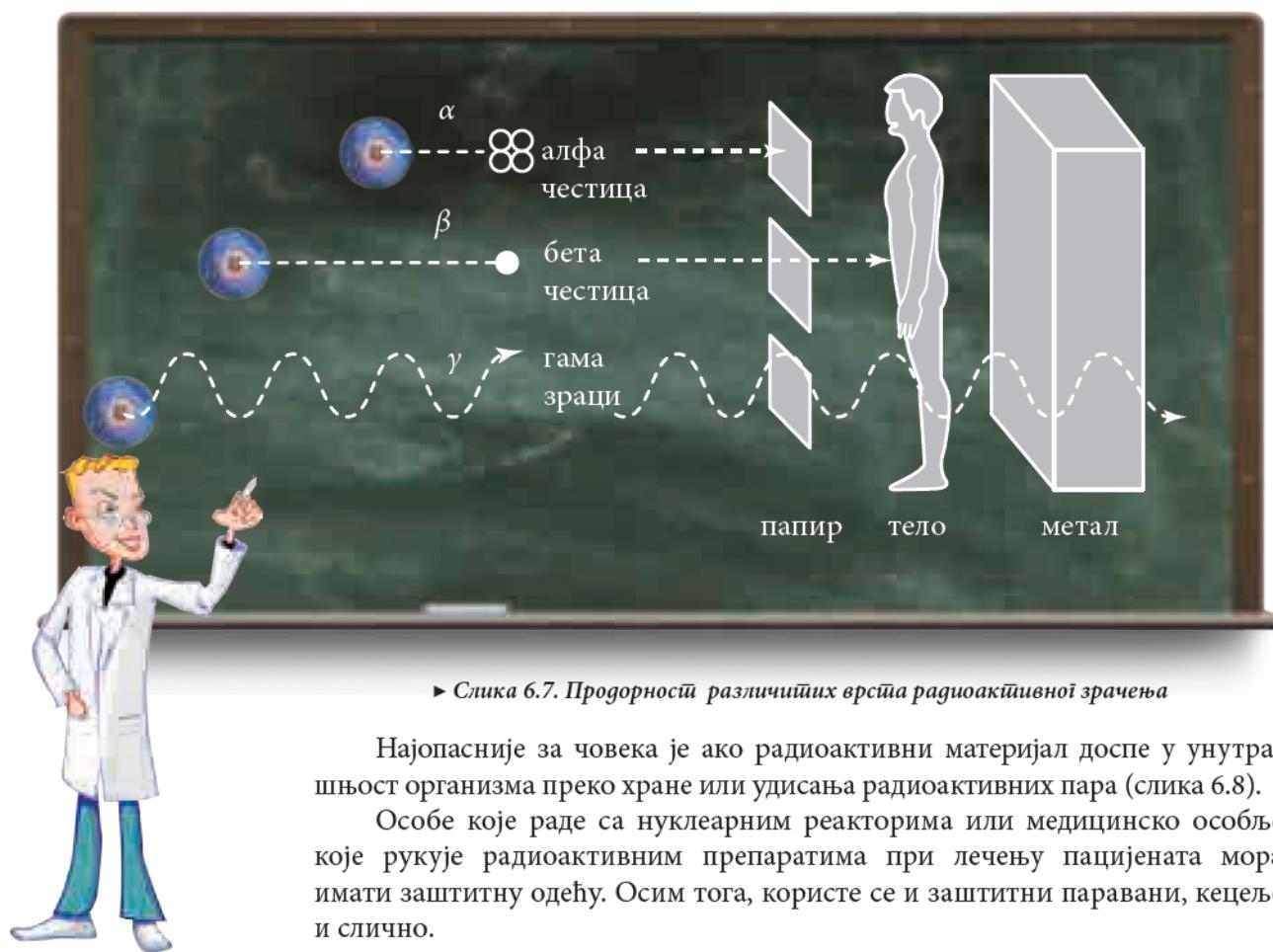
## 6. Елементи атомске и нуклеарне физике

- 7. Физика и савремени св

## РАДИОАКТИВНО (НУКЛЕАРНО) ЗРАЧЕЊЕ И ЗАШТИТА ОД ЊЕГА

Радиоактивно зрачење при проласку кроз супстанцију врши јонизацију атома. Настали јони ступају у хемијске реакције. Ако овакво зрачење пролази кроз живи организам, оно у ћелијама изазива различите промене и општећења. Алфа и бета-зраци већих интензитета најчешће изазивају јаке опекотине на кожи. Очи су изузетно осетљиве на ова зрачења. Гама-зраци, који су много продорнији, уништавају ћелије у дубини организма. Посебно су на ово зрачење осетљиве ћелије слезине и коштане сржи. Зато је за руковање радиоактивним изворима потребна посебна обука, заштита и радна дисциплина.

Радиоактивни извори се, кад нису у употреби, чувају у оловним кутијама дебелих зидова, па се зраци апсорбују у зидовима кутије. За чување  $\alpha$ - и  $\beta$ -радиоактивних извора могу се користити кутије од пластичних маса или алуминијума, јер њихова зрачења нису тако продорна као зрачења  $\gamma$ -извора. Продорност ових радиоактивних зрака, најбоље објашњава слика 6.7.



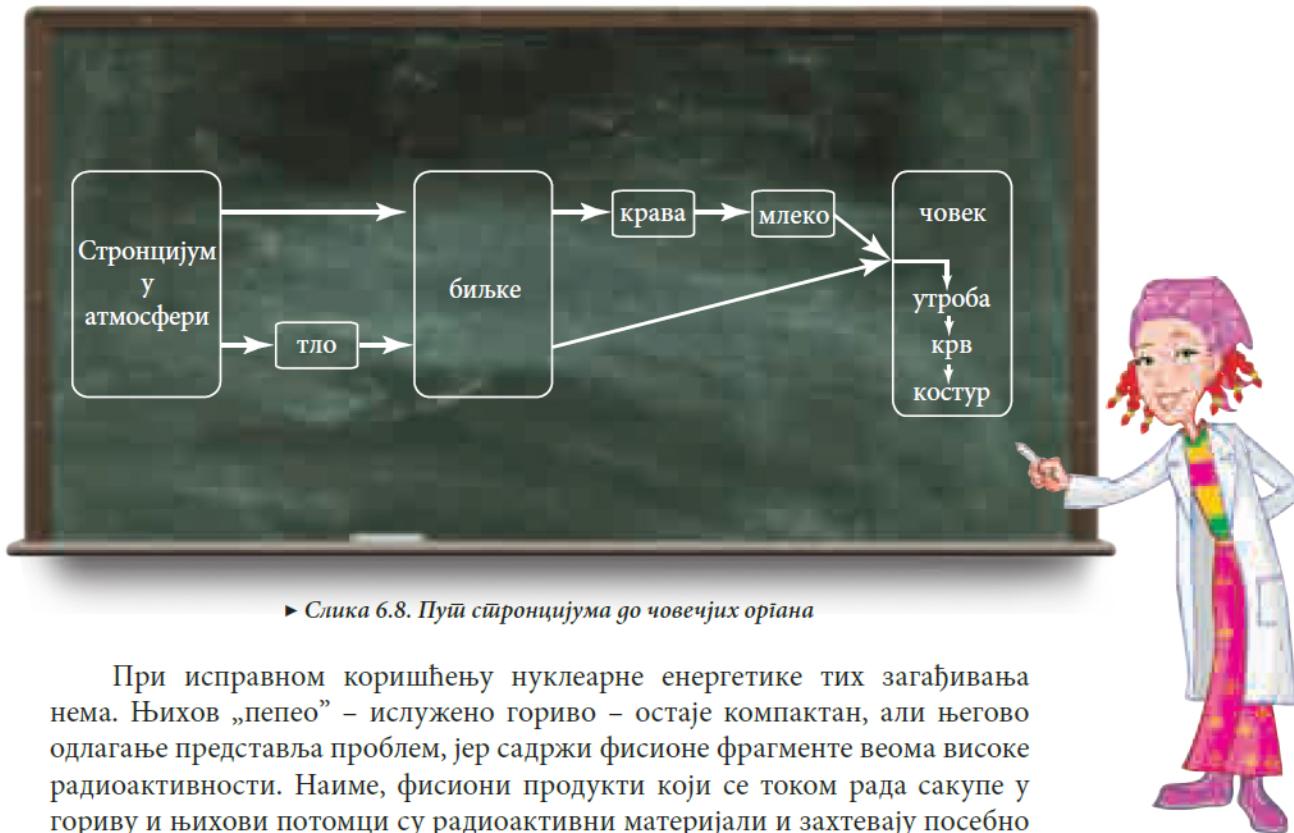
► Слика 6.7. Продорност различитих врста радиоактивног зрачења

Најопасније за човека је ако радиоактивни материјал доспе у унутрашњост организма преко хране или удисања радиоактивних парова (слика 6.8).

Особе које раде са нуклеарним реакторима или медицинско особље које рукује радиоактивним препаратима при лечењу пацијената мора имати заштитну одећу. Осим тога, користе се и заштитни паравани, кецеле и слично.



Као и код класичних топлотних извора енергије (нпр. код угља), код рада нуклеарних реактора постоји проблем отпада. При сагоревању фосилних горива, нафте и угља поред пепела и чаји емитује се угљен-диоксид, сумпор-диоксид и оксиди азота, који угрожавају животну средину. У пепелу угља може се наћи и радиоактивног материјала из унутрашњости Земље.



► Слика 6.8. Пут стронцијума до човечјих органа

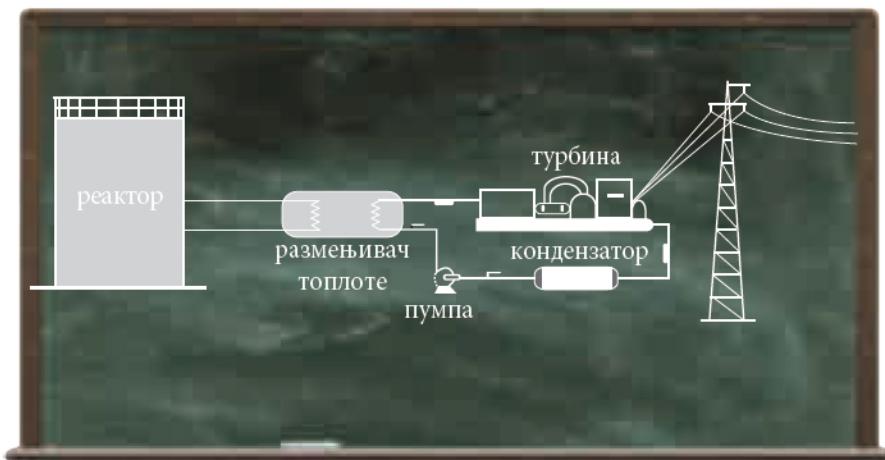
При исправном коришћењу нуклеарне енергетике тих загађивања нема. Њихов „пепео” – ислужено гориво – остаје компактан, али његово одлагање представља проблем, јер садржи фисионе фрагменте веома високе радиоактивности. Наиме, фисиони продукти који се током рада сакупе у гориву и њихови потомци су радиоактивни материјали и захтевају посебно складиштење. Проблем лежи у томе да је неким од фисионих продуката потребно веома дugo време да пређу у стабилне потомке и зато дugo времена представљају опасност за околину.

## 6.4. ПРИМЕНА НУКЛЕАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ И РАДИОАКТИВНОГ ЗРАЧЕЊА

### НУКЛЕАРНА ЕНЕРГЕТИКА

Проналазак ланчане фисионе реакције омогућио је ослобађање огромних енергија у виду топлоте. Нагло и неконтролисано ослобађање овоге енергије у делићу секунде доводи до експлозије огромних размера. То је **нуклеарна** („атомска“) бомба. Међутим, нађен је начин да се ово ослобађање енергије контролише, успори и одвија по потреби. То се догађа у **нуклеарним** реакторима. Регулацијом протока неутрона подешава се снага реактора, а може се и прекинути његов рад.

Енергија која се ослободи при нуклеарној фисији у највећој мери се претвара у топлотну енергију. Овом топлотом се загрева вода, која се под високим притиском претвара у пару. Помоћу ове паре покрећу се турбогенератори у нуклеарним електранама, које већ у великом проценту подмирују растућу потребу за електричном енергијом савременог друштва. Типичан шематски приказ овакве електране дат је на слици 6.9.



► Слика 6.9. Шема нуклеарне електране

Нуклеарни реактори користе се и за погон бродова, посебно подморница. Наиме, потрошња „нуклеарног горива“ за погон је (по маси гледано) неупоредиво мања од оне за класична горива: нафту или угљ. Посебна погодност код подморница које поседују нуклеарни реактор је та да се за ослобађање погонске енергије не троши кисеоник, као код подморница које сагоревају класично гориво. Залихе нуклеарног горива које брод може да прими су довољне за вишемесечно па и вишегодишње пловљење.

Нуклеарни реактори служе и за добијање вештачких радиоактивних елемената. Ако се у унутрашњост реактора, где се врши цепање језгра и где је врлоје радиоактивно зрачење, убаце неки елементи (калцијум, јод, фосфор, кобалт, стронцијум и др.), после известног времена и ови елементи постају радиоактивни. То су **вештачки радиоактивни елементи**. Они се употребљавају у технички, привреди, индустрији и медицини.



## УПОТРЕБА РАДИОАКТИВНОГ ЗРАЧЕЊА У ПРЕХРАМБЕНОЈ ТЕХНОЛОГИЈИ

Постоје намирнице (нпр. храна у праху, адитиви, зачини, какао-прах, гриз, жито итд.) које су често контаминиране изразито терморезистентним микроорганизмима. Ако се за њихову стерилизацију користе високе температуре, долази до нарушавања основних органских својстава. Међутим, уз правилну примену, врло ефикасна деконтаминација ових намирница омогућава се јонизујућим зрацима, без промена нутритивних и **сензорских** својстава.

Дејство енергије јонизујућег зрачења на микроорганизме у храни користи се као метод очувања хране од кварења. Микроорганизми у храни и прехранбеним производима, својим метаболичким активностима, односно растом и размножавањем, изазивају промене органских материја које се налазе у саставу хране. На тај начин мењају се **сензорска** својства и хранљива вредност намирница и оне постају неупотребљиве за људску исхрану. Присуство патогених микроорганизама и њихових токсина у храни могу довести до појаве заразних болести, па чак и до смрти људи.

Корисни ефекти зрачења намирница обухватају потпуно уништење, смањење броја и/или деактивацију микроорганизама опасних по здравље људи, те уништавање инсеката, ларви и јаја из намирница. Са здравственог аспекта значајно је утврдити да у зраченим намирницама нема токсичних производа. На основу бројних истраживања, спроведених у САД и Енглеској, а на основу храњења животиња, није запажено да озрачена намирница садржи било коју врсту штетних једињења. Међутим, ова категорија зрачења још није нашла комерцијалну примену, јер је условљена доношењем одговарајућих законских прописа.

## НУКЛЕАРНА МЕДИЦИНА

Грана медицине која се бави коришћењем радиоактивног зрачења у сврху лечења људи назива се **радиотерапија** (слика 6.10). Она употребљава уске снопове радиоактивног зрачења (првенствено гама-зраци, па електрони и протони) који продиру у тело на циљано место.

Утврђено је да су неке малигне ћелије мање отпорне на радиоактивно озрачивање од здравих ћелија. Зато су конструисани апарати који озрачују оболело ткиво или оболели орган. Здраво ткиво, кроз које ово зрачење мора да прође на путу до болесног дела да би се озрачило, такође бива изложено свим опасностима радиоактивног зрачења и свим оштећењима које оно узрокује. Ово не може да се избегне, али могу да се смање негативни ефекти на здраво ткиво. Као прво, путем такозваних колиматора се ширина и облик снопа зрачења могу прилагодити величини и облику малигног ткива да би околно здраво ткиво, у што је могуће мањој мери, било захваћено радијацијом. Дубина продирања наелектрисаних честица (електрони, протони) у тело зависи од њихове енергије. Погодним избором енергије ових честица постиже се да здрава ткива испод и око оболелог дела буду мање изложена штетном дејству зрачења.

# 8 ФИЗИКА

- 1. Осцилације и таласно кретање
- 2. Светлосне појаве
- 3. Електрично поље
- 4. Електрична струја
- 5. Магнетно поље

## 6. Елементи атомске и нуклеарне физике

- 7. Физика и савремени свет



► Слика 6.10. Употреба радиоактивног зрачења у борби против карцинома

Тамо уништавају болесно ткиво, најчешће злоћудне туморе, и изазивају његово одумирање. Зрачење на тај начин може умањити или комплетно уништити туморски чвор, односно умањити неугодне појаве у вези са притиском тумора на околину (бол, отицање и сл.). Радиотерапија се може примењивати на готово сваком делу људског тела, пре или након операције, или хемотерапије.

У радиотерапији употребљавају се високе дозе зрачења, па је ризик од уништења и здравог ткива у околини тумораувек присутан и реалан. Очекивани ефекат лечења мора бити већи од ризика оштећења, па је стога потребно да такву терапију планирају и изводе посебно обучени стручњаци – радиотерапеутски тим: радиотерапеут-онколог, физичар, електроинжењер, медицинска сестра и помоћно особље.



Употреба атомској оружју је на свој начин обележила XX век. Дилеме о разумности и оправданости ових дојађаја су врло присућне и шолико година после бацања атомских бомби на јапанске градове. Одговори су различити како нам то казују мемоари учесника у овим збивањима и анализе историчара. Сумње нема, међутим, да је смрт око 130.000 људи у Хирошими и 70.000 у Нагасакију, са стотинама хиљада оних који су наставили да живе са тешким последицама озрачивања, спровучна ономена нашој цивилизацији. Ниво етике оних који доносе одлуке мора бити сјасан са нивоом технике која им је на распоредању.



## ПОСЕБНО УПАМТИТИ



Према савременим сазнањима сва супстанција је изграђена од атома. Атом се састоји од језгра и електронског омотача. Атомско језгро има сложену структуру. Оно се састоји од две врсте честица – позитивно наелектрисаних честица – протона и неутралних честица – неutrona, приближно истих маса. Један протон или један неutron има око 1840 пута већу масу од електрона. Број протона у атому увек је једнак броју електрона, па је сваки атом електро-неутралан.

Појава да неки елементи спонтано отпуштају невидљиво зрачење зове се радиоактивност. У радиоактивно зрачење спадају позитивно наелектрисане алфа-честице, негативно наелектрисане бета-честице (електрони) и гама-зраци који су електромагнетне природе као и светлост, али много мање таласне дужине. Сво ово зрачење делује штетно на људски организам.

Нуклеарни процес цепања језгра назива се нуклеарна фисија. Овај процес се неконтролисано одвија унутар нуклеарне (фисионе) бомбе, а контролисано у нуклеарним реакторима. Процес спајања лаких језгара у теже, опет уз ослобађање енергије, назива се нуклеарна фузија.

### ПИТАЊА

1. Шта је то атомистичка структура супстанције?
2. Који је однос позитивних честица у атомском језгру и негативних у омотачу?
3. Од чега се састоји атомско језгро?
4. Које је природе радиоактивно зрачење?
5. Шта је ланчана реакција?
6. Чему служе нуклеарни реактори?
7. Како се врши заштита од радиоактивног зрачења?



### ПИТАМ СЕ, ПИТАМ

1. Зашто се протони не разлете из атомских језгара?
  2. Да ли радиоактивни извори зраче стално истим интензитетом?
  3. Шта је нуклеарни отпад?
- (Одговоре пронађите сами користећи литературу и неки интернет претраживач, напр. Google Search, Wikipedia и сл.)

Најбоље би било да изучавање физике у основној школи окончамо сагледавањем улоге коју физика има у свету који нас окружује. Уочимо њене везе са техником и другим наукама, а посебно са медицином.

# 7. ФИЗИКА И САВРЕМЕНИ СВЕТ



# ФИЗИКА

- 1. Осцилације и таласно кретање
- 2. Светлосне појаве
- 3. Електрично поље
- 4. Електрична струја
- 5. Магнетно поље
- 6. Елементи атомске и нуклеарне физике

## 7. Физика и савремени свет

# 7.1. ЗНАЧАЈ ФИЗИКЕ ЗА РАЗВОЈ ДРУГИХ НАУКА

На самом почетку подсетићемо се основних дефиниција и садржаја физике.

Физика је природна наука или основна наука о природи, која изучава општа својства кретања и трансформације материје. До законитости о појавама и понашању материје у природи, физичари долазе на основу експеримената, тј. мерењем, те постављањем и теоријском анализом модела. У складу са овом дефиницијом, јасно је да је физика најтесније повезана са осталим природним наукама – биологијом и хемијом, али и са математиком.

## ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА

Ради сазнавања о понашању природе и дешавању појава у њој, створени су физички модели: честица, материјална тачка, круто тело, флуид, микросвет, зрак, фотон... За описивање тих понашања установљене су строге законитости у облику дефиниција и записа помоћу одговарајућих формула. Због тога је физика неодвојиво повезана са математиком.

Однос физике и математике је сложен. Галилеј је рекао да је математика језик физике. То је тачно, односи физичких величина се изражавају математичким формулама и при решавању се користе све математичке операције. Међутим, мора се увек водити рачуна о томе да математика даје сва могућа решења, а да ми морамо одабрати она решења која имају смисла са тачке гледишта физике. На пример, не можемо прихватити решење проблема пада камена у јаму у трајању од – 5 секунди, иако то задовољава математичко решење квадратне једначине.

Данас математика развија нове методе за потребе решавања одређених проблема из физике, док физика користи те методе и указује на нове проблеме за које је потребно даље развијати математику.

## ФИЗИКА И ОСТАЛЕ ПРИРОДНЕ НАУКЕ

Ако познајемо грађу супстанције на нивоу атома и молекула, можемо предвидети ток хемијских реакција. Према томе, физичка испитивања нас усмеравају у хемији. Штавише, физика иде корак даље: предвиђа материјале тачно одређених особина. Онда хемичарима предстоји други део после: да пронађу тачне услове реакције. Ево необичног примера: на телевизији сте вероватно видели рекламу за пелене које имају велику моћ упијања. Материјали који су главни састојак таквих пелена су резултат дуготрајног заједничког рада физичара и хемичара, али и технолога.



Савремена **биологија** проучава процесе на нивоу ћелије или унутар ње, при чиму је неопходно видети ћелију. Ово су омогућили савремени електронски микроскопи са „снажнијим” увећањем (слика 7.1). Електронски микроскопи су уређаји пројектовани на основу сазнања стечених у физици а направљени су у сарадњи са техником – инжењерском електроником и електромагнетиком.

У току развоја сазнања о понашању у живом свету, који је „букнуо” крајем прошлог века, посебно се формирала област, сада већ посебна наука – **биофизика**, као физика живе природе на свим нивоима: молекулском, ћелијском и надћелијском, укључујући биосферу у целини. Најстарија област је биофизика ћелије, која проучава структуру и функционисање ћелија и њених органела (мембрane, цитоскелетима, митохондријама...), али је свакако највећи продор остварен у молекулској биофизици, на плану изучавања структуре и функционисања биополимера (протеина, ДНК и РНК) и њиховој повезаности са генетским кодом. Из ових детаљних сазнања, као примењена надоградња, сада егзистира **медицинска физика**.



► Слика 7.1. Електронски микроскоп

## ФИЗИКА И ТЕХНИКА

У свакодневном животу окружени смо различитим уређајима, на које смо већ толико навикли да их скоро и не примећујемо. Разна превозна средства, уређаји за домаћинство... Ако се запитамо како функционишу, приметићемо да већина има бар неке покретне делове. А кретање тих покретних делова директно следи законе кретања које смо изучавали у механици. Покушајте рецимо сами да набројите све полуте које срећете на путу од куће до школе.

Сва возила и већину уређаја покрећу мотори. Значи, у моторима се обавља претварање неког облика енергије у механички рад. О претварању топлотне енергије у механички рад сагоревањем горива (бензин, дизел, гас), говорили смо у науци о топлоти (Физика за 7. разред). Ако користимо електричну енергију, то смо обрадили ове године у физици. (Подсетимо се још једном да се производња електричне енергије и њен пренос до потрошача обавља и данас на принципима које је разрадио Никола Тесла.)

Можемо анализирати даље, али прилично је јасно да су основна правила физике послужила и данас служе као основа свих уређаја и да се налазе у суштини целокупне савремене технике.

Посебно издавајамо електронику, као грану електротехнике. Електроника је област технике у којој се примењује директно деловање на понашање електрона у одређеним материјалима. Грађу ових материјала предлажу физичари, материјале синтетишу технолози, стручњаци за материјале, а онда је даље посао електроничара да од ових материјала направе одговарајуће електронске компоненте: транзисторе, штампана кола, чипове који се утрагују у рачунаре, мобилне телефоне, уређаје за репродукцију слике и тона.

1. Осцилације и таласно кретање
2. Светлосне појаве
3. Електрично поље
4. Електрична струја
5. Магнетно поље
6. Елементи атомске и нуклеарне физике
- 7. Физика и савремени свет**



## ФИЗИКА И САВРЕМЕНИ МАТЕРИЈАЛИ

Наука о материјалима је посебна област која се издвојила из физике кондензованог стања материје. Она је посебна, јер је сада мултидисциплинарна – ту заједнички раде и истражују физичари, хемичари, биолози, медицинари, технолози и инжењери свих профиле. Посебан замах овој области дао је проналазак електронског микроскопа, јер су тада научници могли да „завире“ у међутомски простор. Након тога нагло се покренуло испитивање тела веома малих димензија, реда нанометра, нпр. пронађен је **графен** – практично дводимензиони угљеник, који има низ веома занимљивих особина.

Графен се слави као чудесни материјал. Добија се када се слојеви графита раздвоје на делове дебљине атома. Графит нам је познат као чист угљеник, материјал од којег се праве графитне оловке. Графен је материјал јачи од челика, одличан проводник топлоте и електричне енергије.

**Биоматеријали** обухватају широку класу материјала за примену у медицини, фармацији и стоматологији, и то су: метални, керамички и стакласти биоматеријали, недеградабилни синтетички полимери, композитни биоматеријали и други. Многобројни биоматеријали и медицински прибор уобичајено се користе као имплантати у денталној, ортопедској, кардиоваскуларној, офтальмолоској и реконструктивној хирургији. Успешно се употребљавају и у интервенцијама, као што су ангиопластика (стентови) и хемодијализа (мембрane), за медицински прибор, као што су хируршкни конци или биоадхезиви, катетери, конектори, цеви, кутије и кућишта, али и као направе за контролисано ослобађање лекова.

### ПРИМЕНА БИОМАТЕРИЈАЛА У МЕДИЦИНУ



Медицински кайштепер



Васкуларни силентниови



Имплант у стоматологији



## 7.2. ДОПРИНОС ФИЗИКЕ РАЗВОЈУ САВРЕМЕНЕ МЕДИЦИНЕ

Савремена медицина много дuguје физици. Пре свега ту су различити **дијагностички уређаји** (уређаји који помажу лекарима при постављању дијагнозе), уређаји који омогућују да се сагледа оно што је на први поглед невидљиво. Пођимо од рендгенских снимака, па до савремених томографа (ЦТ) (слика 7.2) и нуклеарне магнетне резонанце (НМР), да и не говоримо о ултразвучним сондама (слика 7.3) са минијатурним камерама. Поред тога, радиоактивни материјали помажу, како при дијагностици, тако и при лечењу. Прецизним прорачунима доза зрачења могу се уништити ћелије рака, а сачувати здраве ћелије.

### УЛТРАЗВУЧНА ДИЈАГНОСТИКА И ТЕРАПИЈА

**Биолошко дејство ултразвука зависи** од његовог интензитета, фреквенције и времена трајања. Директно дејство ултразвука може бити **механичко** и **теплотно**, а индиректно дејство се исказује у одређеним физичко-хемијским процесима. **Механичко дејство** се своди на истезање и сабирање, којима су изложене ћелије и ткива при осциловању под утицајем ултразвучних таласа. Ако је енергија осциловања велика, може доћи до нежељеног разорног дејства.

**Топлотно дејство** ултразвука заснива се на претварању акустичке енергије у топлотну услед апсорпције ултразвука. При пролазу кроз ткиво интензитет ултразвука опада, што значи да део енергије остаје у ткиву и манифестију се у виду топлотне енергије. Поред тога, рефлексија на граници двеју различитих средина доводи до загревања ткива, о чему се мора водити рачуна при терапијској употреби ултразвука.

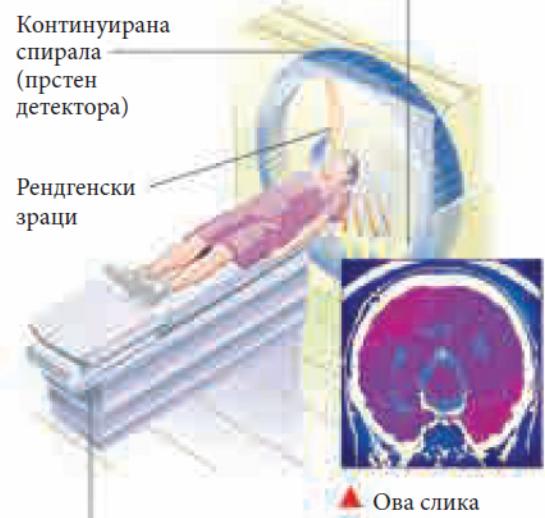
Механичко и топлотно дејство ултразвука посредно изазивају физичко-хемијске промене у ткиву, које при малим интензитетима могу бити корисне.

### Ултразвучна терапија

Имајући у виду деловање на биолошке системе, ултразвук се може корисно употребити у терапији. Основни видови ултразвучне терапије су:

- **загревање ткива** – код упалних и дегенеративних реуматских болести, стања након трауме локомоторног система итд.;
- **уношење лекова** (утрљавањем) кроз кожу (ултрасонографеза);
- **уклањање зубног каменца**, лечење пародентозе, херпеса и других оболења, посебно у стоматологији;
- **разбијање каменца** у мокраћним каналима коришћењем резонантних ефеката итд.

Извор рендгенских зрака који се okreће



► Слика 7.2. Скенер за компјутеризовану томографију (ЦТ)



► Слика 7.3. Скенирање ултразвуком, појединачно скенирање фетуса са првог 20 недеља, користи се за праћење бебиног развоја у мајерици.

1. Осцилације и таласно кретање
2. Светлосне појаве
3. Електрично поље
4. Електрична струја
5. Магнетно поље
6. Елементи атомске и нуклеарне физике
- 7. Физика и савремени свет**



## Ултразвучна дијагностика

Ултразвук се широко примењује у дијагностици. Користе се ултразвучни спонови виших фреквенција, односно енергија. Слика рефлексованих или трансмитованог ултразвучног спона добија се на екрану осцилоскопа (као на слици 7.3). Добијена слика омогућава уочавање промена у ткиву. Комбинована техника омогућава да се одреди и брзина кретања неког предмета у унутрашњости организма (рецимо циркулација крвних састојака, односно кретање ћелија крви).

Најчешћа примена ултразвука у дијагностици је:

- *ехоенцефалографија* или *ехотомографија*, за локирање крварења и тумора у мозгу;
- *ехокардиографија*, за регистровање тромба у срцу и сл.;
- *ехографија* у гинекологији и акушерству (нарочито за одређивање положаја плода), као и у офтальмологији и при испитивању органа у трбушној дупљи, испитивању сужења и компресије канала кичмене мождине итд.

## МЕРЕЊЕ БИОПОТЕНЦИЈАЛА И БИОСТРУЈА (ЕКГ И ЕЕГ)

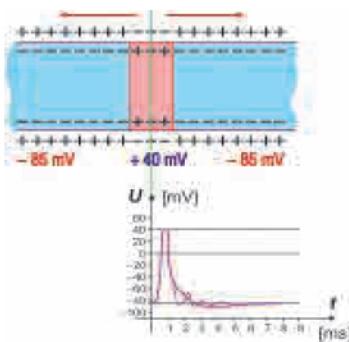
### Биопотенцијали и биострује

Сви електрични потенцијали који настају у живом организму називају се **биопотенцијали**, а струје које они изазивају – **биострује**. Сви електрични процеси у живом организму потичу од промена електричног потенцијала који постоји на мембранама ћелија. Ова промена електричног потенцијала, назvana акциони потенцијал, путује дуж нервне ћелије носећи информацију о неком надражaju или дуж мишићне ћелије чиме постиже координисано механичко дејство неког мишића. Брза промена електричног потенцијала, мерења на једном месту нервног или мишићног влакна, има пулсни карактер, као на слици 7.4.

Мерење биопотенцијала и биоструја врши се помоћу инструмената који су са биолошким системом повезани преко **електрода**. Задатак електроде је да јонски биоелектрични потенцијал претвори у струјни или напонски импулс који се може појачавати и мерити.

Биопотенцијали се одређују мерењем разлике потенцијала између две електроде смештене на различитим деловима биолошког система. Електроде се могу лоцирати унутар и ван ћелијске мембрane да би се измерио акциони потенцијал једне ћелије или и на различитим позицијама на грудном кошу да би се пратиле промене потенцијала настале радом срчаног мишића (ЕКГ). Уколико се електроде поставе на главу пацијента, добија се приказ промена електричног потенцијала насталог услед мокраних активности (ЕЕГ). Пошто су вредности биопотенцијала, а посебно њихове промене, веома мале (типичне вредности дате су у табели 7.1), детектовани електрични сигнали морају се појачавати.

На монитору рачунара добијају се потпуно „обрађена“ слика и најпрепцизнији резултати.



► Слика 7.4. Типичан облик акционог појенцијала



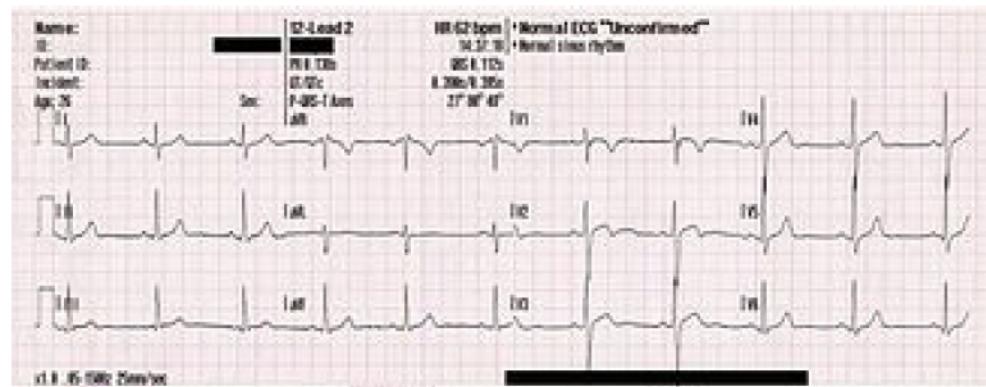
СНИМАК	ТКИВО	ВЕЛИЧИНА СИГНАЛА [mV]	ФРЕКВЕНТНО ПОДРУЧЈЕ [Hz]
ЕКГ	СРЦЕ	0,1 – 4,0	0,05 – 100
ЕЕГ	МОЗАК	0,01 – 0,10	0,05 – 100

Табела 7.1. Основне карактеристике неких биосигнала

## Електрокардиограм (ЕКГ)

Електрокардиограм је графички, односно електронски приказ резултата електрокардиографије – електричне активности срца током периода у којем су прикопчане електроде на одређена места коже. Оне откривају ситне промене потенцијала на кожи које настају из срчаномишићних електрофизиолошких образаца деполаризације у сваком срчаном циклусу (слика 7.5).

График напона који се добија овим медицинским поступком назива се електрокардиограм. То је тест који се у кардиологији врло често обавља, а има изглед као на слици 7.6.



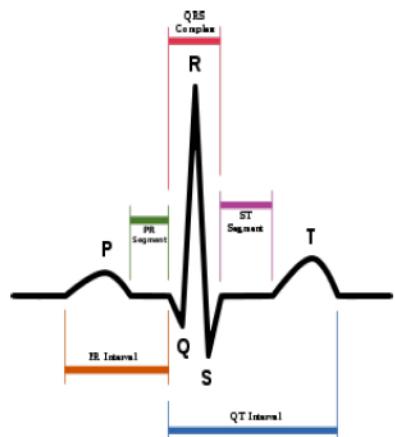
► Слика 7.6. Електрокардиограм

Свеукупни циљ обављања електрокардиографије је прибављање информација о структури и функцији срца.

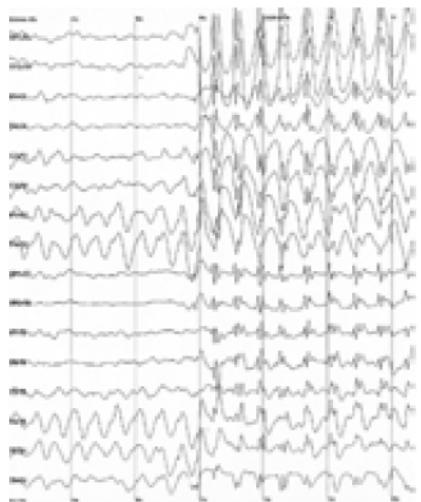
## Електроенцефалограм (ЕЕГ)

Електроенцефалографија је посебан неурофизиолошки метод који региструје моздану електричну активност преко електрода смештених на поглавини (што је најчешћи вид коришћења) или унутар мозданог ткива (што се користи у преоперативној припреми болесника са епилепсијом). Резултујући дијаграм – ЕЕГ је заступљен у виду дигиталног цртежа коришћењем рачунара (као на слици 7.7).

Електроде у облику новчића обично се постављају на површину главе (слика 7.8) и снима се сигнал са сваке од њих, односно бележи се разлика потенцијала између сваке мрнне и једне стандардне референтне електроде.



► Слика 7.5. Приказ једног срчаног циклуса



► Слика 7.7. Изглед ЕЕГ записа

# 8 ФИЗИКА

- 1. Осцилације и таласно кретање
- 2. Светлосне појаве
- 3. Електрично поље
- 4. Електрична струја
- 5. Магнетно поље
- 6. Елементи атомске и нуклеарне физике

## 7. Физика и савремени свет



► Слика 7.8. Процедура ЕЕГ снимања

ЕЕГ бележи маждане таласе који су према фреквенцији подељени на: делта (активност до 4 Hz), тета (4–8 Hz), алфа (8–12 Hz) и бета таласе (преко 12 Hz). Поједина нормална (будност, спавање, дремање) и патолошка стања (епилепсија, енцефалопатија, маждани удар или друге структурне лезије мозга) имају свој специфичан ЕЕГ запис, захваљујући којем се користи као неопходан дијагностички метод.

## Рендгенски зраци

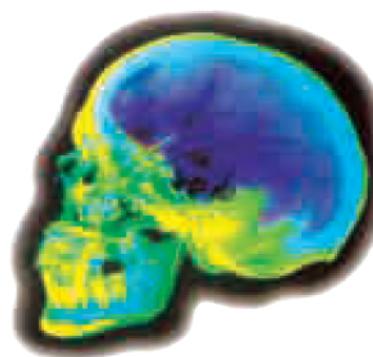


Вилхелм Конрад Рендген

Први добитник Нобелове награде за физику (1901) био је немачки научник Вилхелм Конрад Рендген (Wilhelm Konrad Röntgen, 1845–1923). Он је 1896. године открио необичне невидљиве зраке који су остављали траг на фотографској плочи, исти као и светлост. За разлику од светlostи, ови зраци су били довољно продорни да прођу кроз људска ткива али су различито апсорбовани у различитим ткивима и на томе се заснива њихова медицинска примена. Још један занимљив податак: идеју да се користе флуоресцентне фолије да би се побољшао квалитет снимака, први је дао српски научник Михајло Пупин!



Оtkriće рендгенских зрака било је од епохалног значаја за човека. Радиоскојија, 1910. године



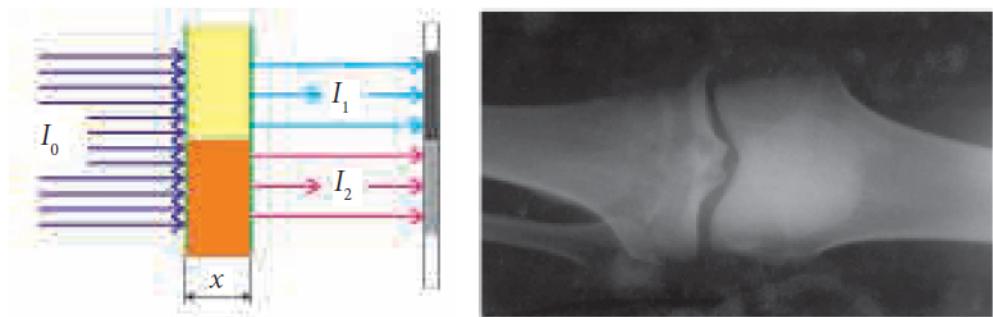
Рендгенски снимак људске лобање показује га негостијаје један ћорњи кутњак



## Рендген апарати и скенери

На основу различите апсорпције, односно на бази различитог интензитета X зрака који прођу кроз различите супстанције (са различитим коефицијентима апсорпције) добија се различит ниво затамњења „контраст“ фото-филма иза узорка кроз који X-зрачење пролази.

**Рендгенограм** (слика 7.9) даје дводимензиони снимак ткива које је предмет дијагностиковања. На снимку се увиђају пукотине, деформације, као и све патолошке и физиолошке промене, поготово на костима.



► Слика 7.9. Физички основи рендгенодијагностике и рендгенојрам

Савременији и усавршенији дијагностички метод – **компјутерска томографија** (ЦТ) подразумева стварање узастопног низа снимака приликом синхронизоване ротације извора X-зрачења и детектора око пацијента. ЦТ је решила проблем детекције малих разлика у апсорпцији и неефикасности филма у таквим случајевима, уводећи детекторе који региструју сваки фотон. Тиме је остварена и могућност добијања рендгенске слике танког слоја ткива. Овим методом добијају се сlike попречних пресека неког дела тела, видимо их на дисплеју као резултат компјутерског прорачуна огромног броја добијених вредности за коефицијенте апсорпције из различитих правца и углова зрачења.

## Ласери и њихова примена

**Ласери** – квантни генератори електромагнетног зрачења, користе ланчани процес стимулисане фотонске емисије, који се формира у посебно – радној супстанцији ласера, помоћу вишеструког одбијања од два огледала постављена на крајеве радне супстанције. Постоје полупроводнички и ласери са течном, као и са гасном радном супстанцијом.

Ласери имају велику усмереност уског спона електромагнетних таласа, кохерентну, монокроматску и поларизовану светлост – велике снаге (изнад 108 W),јако електромагнетно поље , огромну осветљеност и, због свега тога – велику продорну моћ.

**Примена ласера** је данас врло распрострањена, нпр. у:

1) **индустрији**: бушење тврдих материјала, контрола неравнина, детекција ваздушних мехура или пукотина у узорцима – специјалним лимовима за авио и бродску употребу итд.;

2) **науци**: за рад прецизних оптичких инструмената, при мерењу малих померања и сл.;



► Слика 7.10. Употреба ласера у хирургији

# ФИЗИКА

1. Осцилације и таласно кретање

2. Светлосне појаве

3. Електрично поље

4. Електрична струја

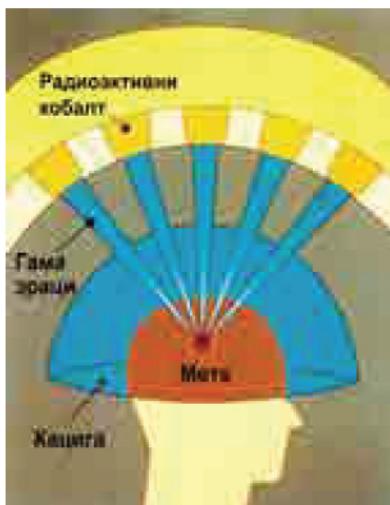
5. Магнетно поље

6. Елементи атомске и нуклеарне физике

## 7. Физика и савремени свет



► Слика 7.11. Ласер у стоматологији



► Слика 7.12. Принцији рада гама-ножа

3) *техници*: праћење сателита, одређивање великих раздаљина, 3Д фотографије – холографија ...;

4) *медицини*: деликатне операције на малом простору и без квартења (слика 7.10).

Прва и основна особина ласерске светlostи је да она не разара биолошка ткива што, повезано са ефектом коагулације беланчевина, омогућава хируршке захвате без квартења. То је, пре свега, примењено у офтальмологији за конструкцију специјалног ласерског уређаја офтальмокоагулатора – ласерског ножа који омогућава операције на оку без квартења и без посебне стерилизације. Затим се користи у лечењу глаукома (ласерским споном врши се „сагревање“ наталожене опне) итд.

Друга област примене у медицини повезана је са холографијом. Помоћу ласера конструисан је гастроскоп који омогућава холографско формирање тродимензионе слике унутрашњости желуца.

Ласерска светlost, такође се употребљава у стоматологији за лечење каријеса (слика 7.11). Пошто оболело место апсорбује много више светlostи него преостали део зуба, велика количина апсорбоване енергије уништава каријес.

На истом принципу, ради се и уклањање тетовираних цртежа са површине коже, где тамно мастило испарава услед велике апсорбоване енергије.

## Гама-нож

Гама-нож је медицински уређај из области радиохируршке технологије намењен за лечење тумора и других процеса на мозгу. Како се принцип рада апарат заснива на примени гама зрачења, по њему се и уређај зове „гама нож“ (иако по својој суштини он није нож – скалпел, већ усмерено гама зрачење). Гама-нож један је од тренутно бољих уређаја за лечење тешко приступачних – иноперабилних тумора и метастаза на мозгу као и анеуризми и других аномалија на крвним судовима главе и врата, који се не могу хируршки одстранити, или третирати стандардним методама радиотерапије.

Ефекат зрачне терапије исти је као да је болесник оперисан на класичан начин уз помоћ скалпела, а да при томе глава (лобања) није отварана. Озрачивање околног здравог ткива мозга је минимално (слика 7.12), а доза која може да се примени у једној сеанси је велика, али и поред тога она не уништава здраво ткиво мозга и не ствара нежељена дејства код болесника.

Гама-нож омогућава да се без потребе за класичним хируршким операцијама, анестезијом или бораваком болесника на одељењу интензивне неге, обави лечење тумора на мозгу или врату, у једном акту, јер на месту тумора обично остаје само мањи ожилјак.

## Нуклеарна магнетна резонанција

Ако се имају у виду дијамагнетна и парамагнетна својства човечјег ткива (вода и раствори) јасно је да постоји утицај магнетног поља на живе организме: морфолошке промене, оријентација раста у магнетном пољу, утицај магнетног поља на нервни систем, промене карактеристика крви, промене концентрације молекула у биолошким течностима итд.

Моћан метод у биологији и медицини јесте метод нуклеарне магнетне резонанције (НМР), који се базира на интеракцији и резонанцији јаког спољашњег магнетног поља и магнетног поља атома човечјег ткива.



Нуклеарна магнетна резонанца има велику примену у молекулској биофизици, где се користи за испитивање структуре молекула. Могу се испитивати живе ћелије и ткива. Коришћењем НМР може се скенирати цело човечје тело у дијагностичке сврхе. Промене у структури ткива поједињих органа утичу на вредности **времена релаксације** (после изазивања резонанције, спољашње поље се искључује и биолошки систем се релаксира) и на основу њихових измерених вредности, може се судити о евентуалној патологији органа. Пример таквог испитивања – дијагностике, на основу мерења времена релаксације  $T$ , дат је у Табели 7.2

ТКИВО	$T$ [ms]	ТКИВО	$T$ [ms]
МОЗАК (сива маса)	275	ПАНКРЕАС	180 – 200
МОЗАК (бела маса)	225	ПАНКРЕАТИС	200 – 275
ГЛИОМ (метастаза)	250 – 350	ПАНКРЕАС (карцином)	275 – 400
ЈЕТРА	140 – 170	БУБРЕГ	300 – 340
ЈЕТРА (цироза)	180 – 300	БУБРЕГ (карцином)	400 – 450

Табела 7.2. Вредности времена релаксације за нека човечја ткива

Нуклеарна магнетна резонанција (НМР) има велику перспективу за примену у дијагностици, јер се сматра неинвазивном методом која, за разлику нпр. од рендгенске дијагностике, није штетна по људски организам. Зато се рендгенска томографија све више замењује томографијом на бази магнетне резонанције. Треба, међутим, имати у виду да се на овај начин организам излаже дејству јаких магнетних поља, које ипак може бити штетно. Индукције магнетних поља које се користе за НМР имају интензитете 0,1–1 Т. Посебно је важно истаћи да сви ефекти дуготрајног деловања магнетног поља на људски организам, макар и оних мањих интензитета, још нису довољно истражени, а ни стандардизовани.

## Наномедицина

Нанофизика са нанотехнологијом (о којој ће бити још речи касније) је област науке о материјалима посвећена манипулацији атомима и молекулима које воде конструкцији структура величине нанометра (углавном мање од 100 nm) са посебним својствима. (Да се подсетимо: нанометар је милијардити део метра.) Физичка и хемијска својства материјала изузетно се мењају када се број атома који чине материјал знатно смањи. Мали број условљава другачији распоред и међурастојање за површинске атоме, а та својства доминирају физичким и хемијским својствима објекта. Развој нанотехнологије, захваљујући свом потенцијалу да искористи открића молекулске биологије, почeo је да мења основе дијагностике, терапије и превенције болести.

# 8 ФИЗИКА

- 1. Осцилације и таласно кретање
- 2. Светлосне појаве
- 3. Електрично поље
- 4. Електрична струја
- 5. Магнетно поље
- 6. Елементи атомске и нуклеарне физике
- 7. Физика и савремени свет**

У ствари, скала основних биолошких структура је слична компонентама које су укључене у нанотехнологију. Стога се већина молекулске медицине и биотехнологије може сматрати нанотехнологијом.

Примена нанотехнологије у третману, дијагнози, праћењу и контроли биолошких система недавно је дефинисана под називом наномедицина.

**Наномедицина** је врло широка област и проучава наночестице које делују као биолошки **миметици** (лекови или суплементи који активирају неке физичко-хемијске путеве у организму), „наномашине” (нпр. оне направљене од ДНК), нановлакна и полимерне наноконструкте који служе као биоматеријали (нпр. нанопорозне мембрane), као и различите уређаје који делују на нанонивоу (нпр. силицијумски микрочипови за отпуштање лекова и шупље микроиглице од силицијумских монокристала).

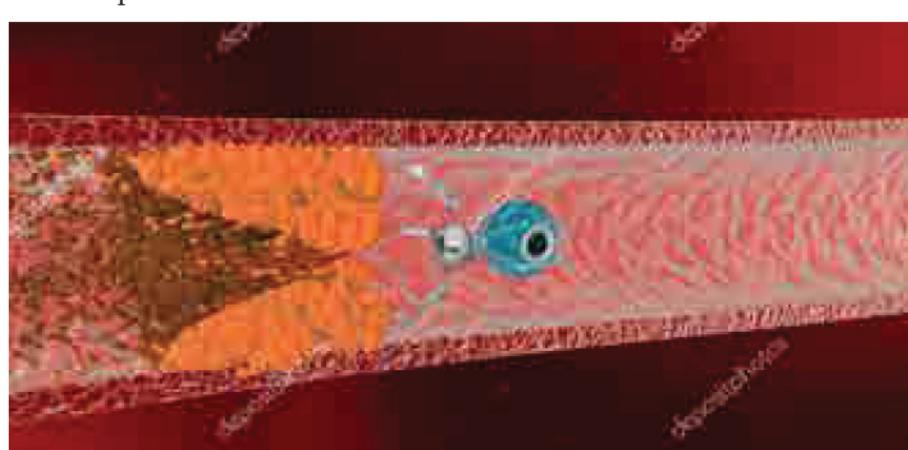
У ширем смислу, наномедицина је примена технологија на нано скали у медицинској пракси. Користи се за дијагностику, превенцију и лечење болести и за стицање знања комплексних механизама који су у основи болести. Иако је нанотехнологија установљена дисциплина, комерцијална наномедицина (са својим широким опсегом идеја, хипотеза, концепата и неразвијеним клиничким уређајима) још је у почетном стадијуму развоја.

Технологије и технике, код којих се наномедицинска примена може очекивати у скоријој будућности, су:

- **биофармацеутика:** откривање лекова, конструкција функционних носача за доставу медикамената;
- **материјали за имплантирање:** поправка и замена ткива, структурни материјали за имплантете, облагање имплантата, регенератори ткива, поправка костију, биоресорбујући материјали, паметни материјали;
- **уређаји за имплантирање:** уређаји за процену и лечење, сензорска помагала и медицински уређаји које је могуће имплантирати, импланти рођњаче;
- **медицинска йомајала и уређаји:** дијагностички, хируршки и алати за генетска испитивања, паметни инструменти и нано-роботи (слика 7.13);

Очекује се да ће у наредним годинама бити предузета даља значајна истраживања у набројаним областима наномедицине.

Нека од најамбициознијих очекивања говоре о могућности грађења потпуно нових ДНК структура, молекул по молекул, чиме би се створили услови за искрењивање болести.



► Слика 7.13. Нано робот у медицини (разбијање крвног утрушка)



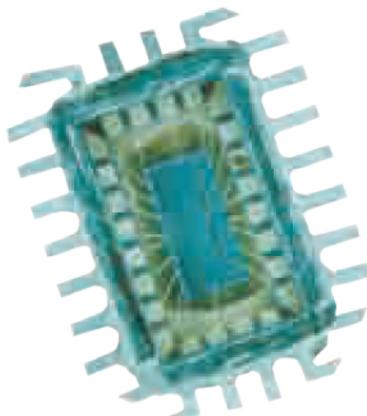
## 7.3. ФИЗИКА И САВРЕМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ

Већ смо констатовали да су основна правила физике послужила и данас служе као основа свих уређаја и да се налазе у суштини целокупне савремене технике.

Посебно издавајмо електронику као грану електротехнике. Електроника је област електротехнике у којој се примењује директно деловање на понашање електрона у одређеним материјалима. Улога физичара је овде следећа: они покушавају да „направе“ нове материјале, тачније материјале са новим особинама мењајући им грађу на нивоу веза између атома, а то је оно што смо већ споменули као **нанофизику** и њену практичну реализацију од стране технologа, **нанотехнологију**. Није једноставно од лабораторијског поступка развити начин индустријске производње таквих материјала. Ови поступци имају као први циљ **минијатуризацију**, то јест смањивање димензија електронских елемената. То омогућује да уређаји (рачунари, релеји, мобилни телефони, уређаји за снимање, пренос и репродукцију звука и слике) постану компактнији и самим тим једноставнији за употребу. Конкретно, када су **полупроводнички транзистори** (слика 7.14) заменили **електронске цеви** („лампе“ старих радио-апарата), први пут је било могуће уместо прикључивања на мрежу користити батерије у свакодневном животу. После тога су се појавила тзв. **интегрисана кола** где је на плочицу полупроводника нането („наштампано“) целокупно коло уместо само једног елемента (слика 7.15).



► Слика 7.14. Полупроводник јерманијум се користи за производњу транзистора.



► Слика 7.15. Силицијум се користи за производњу интегрисаних кола.

Постоји још један битан задатак нанофизици. То је повећање количине информација које се могу „чувати“ и преносити електронским путем, а посебно је битна брзина којом се те информације преносе јер се тако омогућава даљинско управљање уређајима. Наравно, при томе је веома важно да се информација не деформише. О свему овоме веома добро су обавештени корисници интернета као глобалне мреже. (У преносу информација битну улогу играју оптички каблови о којима смо говорили у поглављу о оптици.)

1. Осцилације и таласно кретање
2. Светлосне појаве
3. Електрично поље
4. Електрична струја
5. Магнетно поље
6. Елементи атомске и нуклеарне физике

## 7. Физика и савремени свет

## 7.4. КАКВА ЈЕ БУДУЋНОСТ ФИЗИКЕ?

Питање које се често поставља односи се на будућност физике. Ако се посматра шта је све физика као наука постигла, питамо се има ли шта ново уопште да се пронађе. Одговор можемо добити ако погледамо које су области „фронтови” истраживања у физици. И одговор који добијамо је фасцинантан: главни подухват физичара је „повезивање” највећих и најситнијих објеката које познајемо. Како то?

Говорило смо да се физика стално бави грађом супстанције. Постоји низ честица које се јављају у природи, поред електрона, протона и неутрона, о којима смо већ говорили. Све њих једним именом називамо **елементарне честице**, мада се не мисли да су елементарне зато што се не могу даље разлагати већ зато што су оне елементи од којих је изграђена супстанција. Најчешће их можемо „видети” у реакцијама судара између честица које имају довољно енергије. Према томе, да би регистровали различите честице, физичари изводе огледе у којима изазивају сударе честица са одређеном енергијом. Уређаји у којима се честице убрзавају називају се **акцелератори** (то смо споменули у 7. разреду). Највећи такав уређај на свету (слика 7.16) налази се у европском истраживачком центру ЦЕРН (CERN) чији се тунели (кроз које се крећу честице) протежу испод делова Швајцарске и Француске.



► Слика 7.16. Суерпроводни мајнешти у највећем акцелератору на свету (у Церну). Ови мајнешти се хлађе течним хелијумом и треба да обезбеде јако мајнешин поље неопходно за крешање протона по кружној путањи.

Ипак, постоје ограничења за енергију коју можемо пренети честицама у земаљским условима. То међутим није ограничење за природу, јер се честице са већим енергијама појављују, на пример, у процесима који се одвијају у звездама или негде у међузвезданом простору. Стога је пажња научника окренута управо ка свемиру где се посматрају различити догађаји који су можда последица судара честица са веома великим енергијом. То је један од разлога што се веома прати све што се догађа у свемиру различитим врстама телескопа.



Управо на овај начин физичари посматрањем свемира покушавају да сазнају нешто више о најсићушнијим телима а то су елементарне честице.

Физичари се труде да одговоре и на друга питања везана за свемир: колика је његова старост, има ли он почетак у простору и времену, као и каква ће бити судбина свемира у далекој будућности. Ова питања привлаче велику пажњу и за њих се не занимају само физичари, јер одговори на њих залазе и у области филозофије па и религије.

Један од проблема којим се физичари много баве су **извори енергије**. Свима је јасно да су залихе фосилних горива (угаљ, нафта, гас) на нашој планети ограничена и да ће у не тако далекој будућности бити потрошене. Заједно са инжењерима различитих струка и физичари се баве проблематиком извора енергије. Коришћење нуклеарне енергије, као решење које је изгледало савршено половином прошлог века, данас није тако привлачно уз постојећи облик реактора и електрана, јер подразумева проблем одлагања нуклеарног отпада, а инциденти попут оног са електраном у Чернобилу и Фукусими су само повећали опрез везан за нуклеарну енергетику.

Наравно, ради се на проналажењу других извора енергије. Контролисана термонуклеарна реакција би можда била решење, или неки други видови коришћења нуклеарне енергије. Ефикасно искоришћавање енергије која долази са Сунца (соларна енергетика) једна је од значајних тема (слика 7.17). Могуће је да се истраживањем елементарних честица открију још неки извори енергије, данас непознати.



► Слика 7.17. Соларна енергетика

## Суперпроводљивост

Још једна важна могућност јесу уштеде при коришћењу извора енергије. У том погледу, физика ради на откривању нових материјала. Једна од необичних особина материјала је тзв. **суперпроводљивост**, а то је провођење електричне струје кроз проводник, без губитака на загревање. Проблем је што данашњи материјали то својство могу да имају само на релативно ниским температурама, тако да се цео процес не исплати (хлађење је скupo), али се много ради на томе да се произведу материјали који би имали сличне особине и на собним температурама. У сваком случају, својства супстанције на ниским температурама су једна од „врућих“ тема савремене физике. Идеја је да се проуче ова својства, а онда покушају репродуковати и на вишим температурама.



Х. Камерлинг-Онес

Пионир истраживања особина материјала на ниским температурама (неколико келвина изнад апсолутне нуле) био је Холанђанин Х. Камерлинг-Онес (Heike Kamerlingh-Onnes, 1853–1926) који је установио појаву суперпроводљивости, али и суперфлуидности (протичање течности без отпора) и за своја истраживања добио Нобелову награду 1913. године. Занимљиво је да је у последњих 15 година додељено неколико Нобелових награда за истраживања на ниским температурама.

Навели смо само неке области истраживања у савременој физици. Има их наравно још. Остављамо вам да сами потражите информацију о томе шта су то **нанофизика** и **наноматеријали** (Нобелова награда за физику за 2007. годину). Открићете један потпуно нови свет.



## РЕЧНИК НОВИХ РЕЧИ И ИЗРАЗА

### А

**Акцелератори** – уређаји који убрзавају честице дајући им такоовољно енергије да изазову реакције са другим честицама.

**Алфа ( $\alpha$ ) зраци** – позитивно наелектрисано зрачење, састоји се од језгра атома хелијума.

**Ампер** – јединица јачине електричне струје.

**Амперметар** – инструмент за мерење јачине електричне струје.

**Амплитуда** – максимална удаљеност тела од равнотежног положаја током осциловања

**Апсолутни индекс преламања средине** – количник брзине светlostи у вакууму према брзини светlostи у тој средини.

**Атом** – основни састојак грађе свих елемената. Састоји се од електрона у електронском омотачу и атомског језгра.

### Б

**Бета ( $\beta$ ) зраци** – негативно наелектрисано зрачење, састоји се од електрона.

### В

**Волтметар** – инструмент за мерење електричног напона.

### Г

**Гама ( $\gamma$ ) зраци** – електромагнетни таласи емитовани из језгра, таласне дужине мање од ултраљубичастог зрачења.

**Геометријска оптика** – област оптике у којој се зрак светlostи третира као права линија.

### Д

**Детектор** – уређај који може да забележи присуство зрачења.

**Деутеријум** – водоник који у језгу има један протон и један неутрон.

**Дифузна светlost** – светlost одбијена од неравних површина.

### Е

**Електрична инфлуенција** – појава наелектрисавања без додира, раздавањем наелектрисања под дејством поља.

**Електрична отпорност** – физичка величина која представља меру отпора усмереном кретању наелектрисаних честица кроз проводник.

**Електрична струја** – усмерено кретање наелектрисања у електричном пољу.

**Електрично поље** – око наелектрисаног тела постоји електрично поље, којим оно (привлачно или одбојно) делује на друга наелектрисана тела.

**Електричне линије сile** – замишљене линије које се поклапају са правцем дејства сile електричног поља.

**Електрички напон (између две тачке)** – разлика електричних потенцијала те две тачке.

**Електрични потенцијал** – потенцијална енергија јединичног позитивног наелектрисања у електричном пољу.

**Електролит** – течност у којој су присутни јони и стога је она добар проводник струје.

**Електромоторна сила** – електрични напон на крајевима (неоптерећеног) извора.

**Електрон** – негативно наелектрисана честица, саставни део сваког атома, учествује у провођењу струје кроз чврста тела.

**Електроскоп** – уређај којим се проверава да ли је неко тело наелектрисано.

**Елементарна количина електричитета** – најмања количина наелектрисања која се јавља и њоме су наелектрисани електрон и протон. Ознака:  $e$ .

### Ж

**Жижка (фокус) сферног огледала** – карактеристична тачка огледала у којој се секу зраци који падају паралелно на огледало.

**Жижке сочива** – карактеристичне тачке сочива кроз које пролази паралелан сноп после преламања код сабирних сочива, или кроз које пролазе продужеци преломљених зрака код расипних сочива.

**Жижна даљина** – удаљеност жиже од темена сферног огледала; удаљеност жиже од центра сочива. Ознака:  $f$ .

### И

**Издуబљено (конкавно) сферно огледало** – огледало које је део углачење површине лопте код којег светlost пада на унутрашњи део сферне површи.

**Изолатори** – тела и материјали са малим бројем слободних носилаца наелектрисања, тако да слабо проводе електричну струју.

**Испупчено (конвексно) сферно огледало** – огледало које је део углачење површине лопте код којег светlost пада на спољашњи део сферне површи.

### Ј

**Јачина електричне струје** – количина електричитета која се у јединици времена пренесе кроз попречни пресек проводника.

**Јачина сочива** – реципрочна вредност жижне даљине. Задаје се у диоптријама.

**Језгро (нуклеус)** – позитивно наелектрисани део атома у којем је сконцентрисана скоро сва маса атома. Изграђено је од протона и неутрона.

**Јон** – атом са мањком или вишком електрона тако да је наелектрисан позитивно или негативно.

### К

**Конвексно сферно огледало** – в. Испупчено сферно огледало

**Конкавно сферно огледало** – в. Издуబљено сферно огледало

**Кулонов закон** – говори о сили која делује између два наелектрисана тела која мирују.

Л

**Ланчана реакција** – нуклеарни распад, тј. фисија језгра када неутрони који су изашли из првог разбијеног језгра могу да погоде друга језгра и изазову у њима цепање, а онда неутрони из ових ударају у суседне, и тако се цепање наставља ланчано.

**Лонгитудинални таласи** – таласи код којих честице осцилују дуж правца простирања таласа.

М

**Масени број језгра** – укупан број протона и неутрона у језгру.

**Магнет** – тело које привлачи гвоздене предмете или делује на проводник кроз који противче једносмерна струја

**Магнетна инфлуенција** – појава да гвожђе у магнетном пољу делује као магнет или како се често каже, да се гвожђе намагнетише.

**Магнетни полови** – места где је поље најјаче (крајеви магнета) су његови полови, а експерименти показују да их има две врсте – северни (N) и јужни (S)

**Магнетно поље** – у простору око магнета на гвоздене предмете делује одређена сила; зато кажемо да око магнета постоји магнетно поље

Н

**Наелектрисање** – природна особина супстанције; постоје две врсте наелектрисања: позитивно и негативно

**Неутрон** – неутрална честица, саставни део језгра свих атома изузев водониковог. Маса неутрона је скоро једнака маси протона.

**Нуклеарна физија** – реакција цепања језгра атома уз ослобађање енергије.

**Нуклеарна физија** – реакција спајања језгра на високим температурама уз ослобађање енергије.

**Нуклеарне силе** – силе које делују између нуклеона у језгру.

**Нуклеарни реактор** – уређај у коме се енергија која се ослободи при нуклеарној физији у највећој мери претвара у топлотну енергију.

**Нуклеони** – заједнички назив за саставне делове језгра: протоне и неутроне.

**Нуклеус – в. Језгро**

О

**Огледало** – углачана површина која одбија светлост.

**Одбијање светлости** – појава да се светлосни зрак враћа у обласу простора из којег је дошао.

**Омов закон** – даје везу јачине струје, напона и отпорности у колу.

**Оптика** – грана физике која проучава простирање светлости.

**Оптичка оса сферног огледала** – права која пролази кроз центар кривине и теме огледала.

**Оптичка сочива** – провидна тела чије су обе граничне површине сферног облика или је једна од површина сферна а друга равна.

**Осцилаторно кретање** – периодично кретање увек по истој путањи са проласком кроз једну равнотежну тачку у различитим смеровима.

**Осцилација** – кретање од равнотежног положаја до амплитуде, назад кроз равнотежни положај до друге амплитуде и опет назад до равнотежног положаја чини једну осцилацију.

П

**Паралелна веза елемената кола** – таква веза да на крајевима свих елемената влада исти напон.

**Период осциловања** – време за које се обави једна осцилација. Ознака: T.

**Периодично кретање** – кретање које се после одређеног времена понавља на исти начин.

**Полупречник сферног огледала** – полупречник лопте који део површине је огледало.

**Полупроводници** – материјали код којих се спољашњим дејством могу мењати проводне особине. У пракси су најпознатији елементи силицијум и германијум.

**Преламање светлости** – појава промене правца простирања светлости при преласку у другу средину.

**Привидан (имагинаран) лик (у оптици)** – лик који настаје у пресеку продужетка зрака.

**Проводници** – тела и материјали са великим бројем слободних носилаца наелектрисања, тако да добро проводе електричну струју.

**Протон** – позитивно наелектрисана честица, саставни део језгра атома. Маса јој је око 1840 пута већа од масе електрона.

Р

**Радиоактивност** – појава да неки елементи спонтано отпуштају невидљиво зрачење.

**Расипна (дивергентна) сочива** – сочива која паралелан сноп зрака расипају као да долази из једне тачке (жиже).

**Редна (серијска) веза елемената кола** – таква веза да кроз све елементе противче иста струја.

**Редни број елемената** – број протона у језгру или број електрона у електронском омотачу атома.

**Релативни индекс преламања две средине** – количник брзина светлости у тим срединама.

С

**Сабирна (ковергентна) сочива** – сочива која паралелан сноп зрака сакупљају у једну тачку (жижу).

**Сенка** – простор иза осветљених тела у који светлост не пронира.

**Специфична отпорност супстанце** – електрична отпорност проводника дужине 1 m и попречног пресека 1 m<sup>2</sup>.

**Стваран (реалан) лик (у оптици)** – лик који настаје у пресеку зрака.



## T

Таласна дужина – удаљеност између две најближе честице еластичне средине које осцилују на исти начин. Ознака :  $\lambda$ .

Таласно кретање – процес преношења осцилаторног кретања од једне до друге честице дате средине.

Теме сферног огледала – тачка на средини огледала.

Тотална рефлексија – појава да светлост не напушта гушћу средину на граници са ређом.

Трансверзални таласи – таласи код којих честице осцилују нормално на правац простирања таласа.

Трицијум – водоник који у језгру има један протон и два неутрона.

## У

Увећање огледала – сочива – однос величине лика и предмета.

## Ф

Фокус сферног огледала – в. Жижа сферног огледала

Фреквенција осциловања – број осцилација у једној секунди. Ознака:  $v$ .

## X

Хомогено електрично поље – такво поље постоји у некој области простора, ако у њој у свакој тачки поље има исти интензитет, правац и смер.

## Ц

Центар кривине сферног огледала – центар лопте чији део површине је огледало

## Ц

Цулов закон – тврди да је количина топлоте ослобођена у проводнику кроз који протиче електрична струја једнака производу квадрата јачине те струје, електричне отпорности проводника и времену противцања електричне струје.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Капор, Ј. Шетрачић: ФИЗИКА за VI разред основне школе, Завод за уџбенике, Београд, 2008
2. Ј. Шетрачић, Д. Капор: ФИЗИКА за VII разред основне школе, Завод за уџбенике, Београд, 2009
3. Г. Димић, Д. Илић, Ј. Томић: ФИЗИКА за VII и VIII разред основне школе, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1970
4. М. Распоповић и остали: ФИЗИКА за VI, VII и VIII разред основне школе, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1996
5. М. Бабић и остали: ФИЗИКА за VII и VIII разред основне школе, Профил, Загреб, 1999
6. E. Zalamea, R. Paris, J. A. Rodriguez: FISICA 1–3, EMV – Educar, Bogota (Colombia), 1985
7. G. Gamov, J. M. Cleveland: PHYSICS, Foundation and Frontiers, Prentice – Hall, New Jersey (U.S.A.), 1969
8. R. Resnick, D. Holliday, K. S. Krane: PHYSICS I & II, J. Wiley & Sons, New York (U.S.A.), 1992
9. И. Јанић, Д. Мирјанић, Ј. Шетрачић: ОПШТА ФИЗИКА И БИОФИЗИКА, Матићграф, Бања Лука, 1993
10. И. Драганић: КРОЗ СВЕТ РАДИЈАЦИЈА И РАДИОАКТИВНОСТИ, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1996
11. М. Пупин: СА ПАШЊАКА ДО НАУЧЕЊАКА, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1996
12. В. Његован: НИКОЛА ТЕСЛА ХЕРОЈ ТЕХНИКЕ, Просвјета, Загреб, 1950



## Драги ученици,

током претходне три године дружили сте се са највећим умовима науке. Верујемо да сте од њих сазнали много тога новог, другачијег, корисног и занимљивог. Такође, верујемо да су вам сви они, свако на свој начин, показали да је могуће проницати и у најтајанственије појаве овога света и да узлетима човековог духа нема граница.

Сада се налазите пред великим задатком: уписом у средњу школу. Желимо вам успеха у томе. Знамо да ће и знања која сте стекли учећи физику допринети вашим добрим резултатима, без обзира за коју школу и занимање се даље определили. Желимо вам свако добро и срећно!

Аутори



# 8 ФИЗИКА

др Јован П. Шетрајчић • Др Дарко В. Капор

## ФИЗИКА за осми разред основне школе

Прво издање, 2021. година

*Издавач*  
ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ, БЕОГРАД  
Обилићев венац 5  
[www.zavod.co.rs](http://www.zavod.co.rs)

*Ликовни уредник и кориџе*  
Биљана Савић

*Графички уредник*  
Мирослав Радић

*Илустрације*  
Зоран Пешкан  
Роберт Бартош

*Функционални цртежи*  
Игор Милентијевић

*Лекције*  
Јелица Недић

*Корекције*  
Маријана Васић Стјепановић

*Обим:* 16 штампарских табака  
*Формат:* 20,5 × 26,5 cm

*Тираж:* примерака

*Рукомис предат у штампму:* 2021. године.  
*Штампање завршено:* 2021. године.

*Штампа*